



Architecture – Research Article

# Identifikasi Kenyamanan Termal Menggunakan Software *CBE Thermal Comfort Tool*

Zulkarnain Marzuki<sup>ID</sup>, L. M. F. Purwanto<sup>ID</sup>

Program Studi Doktor Arsitektur, Konsentrasi Arsitektur Digital, Universitas Katolik Soegijapranata

### ARTICLE INFORMATION

Received: December 11, 2023  
 Revised: January 04, 2024  
 Available online: June 05, 2024

### KEYWORDS

*CBE thermal comfort tool*, kenyamanan termal, PMV, PPD

### CORRESPONDENCE

Zulkarnain Marzuki  
 E-mail: zulkarna3471@gmail.com

### A B S T R A C T



Kenyamanan termal merupakan perasaan dimana seseorang merasa nyaman dengan suhu lingkungan sekitarnya. Kenyamanan termal di dalam ruang dipengaruhi oleh temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan udara, radiasi panas dan aktivitas fisik. Jika kenyamanan termal didalam ruang tidak tercapai, maka mahasiswa dan dosen akan sulit berkonsentrasi dan kinerja belajar mengajar akan menurun. Penelitian ini dilakukan pada tiga ruang kuliah yaitu R. 201, R. 301, dan R. 303 di Gedung Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil nilai PMV dan PPD dengan menggunakan software *CBE Thermal Comfort Tool*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan cara mengumpulkan data yang berupa angka melalui pengukuran langsung di ruang kelas kemudian akan dihitung dan dianalisis dengan software *CBE Thermal Comfort Tool* terutama dalam menemukan nilai PMV dan PPD, karena perhitungan ini cukup rumit tanpa bantuan *software*. Jika perhitungan kenyamanan termal belum tercapai maka dilakukan eksperimen agar kenyamanan termal dapat tercapai dengan memodifikasi variabel independen yang akan mempengaruhi variabel dependennya yaitu nilai PMV dan PPD. Hasil analisis sebelum melakukan eksperimen di tiga ruang kelas tidak tercapai kenyamanan termalnya, sehingga perlu melakukan modifikasi salah satu variabel yaitu kecepatan udara senilai 0,8 m/s sehingga hasilnya kenyamanan termal di tiga ruang kelas tersebut tercapai. Kesimpulannya untuk mencapai tingkat kenyamanan termal dengan cara memberikan bukaan untuk pergerakan udara didalam ruangan atau dengan penggunaan AC (*Air Conditioner*) bila diperlukan untuk menurunkan suhu ruangan.

## PENDAHULUAN

Kenyamanan termal merupakan perasaan dimana seseorang merasa nyaman dengan suhu lingkungan sekitarnya. Dalam konteks sensasi, digambarkan sebagai suatu kondisi di mana seseorang tidak merasakan panas atau dingin di lingkungan tertentu (ASHRAE 2020).

Kenyamanan termal pada ruang kuliah sangat penting untuk meningkatkan kualitas belajar mengajar. Kenyamanan termal terkait dengan kondisi suhu, kelembaban udara, dan kecepatan udara di dalam ruang kuliah. Jika kondisi termal tidak nyaman, maka mahasiswa dan dosen akan sulit berkonsentrasi dan kinerja belajar mengajar akan menurun (Suhardi, Laksono, and Budisantosa 2014).

Penelitian ini dilakukan pada tiga ruang kuliah di Gedung Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana. Tiga ruang kuliah tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena masih digunakan oleh mahasiswa prodi arsitektur. Dalam penelitian tentang kenyamanan termal di tiga ruang kuliah, variable independent yang digunakan adalah temperatur udara, kelembaban relatif, kecepatan udara, suhu radiasi, aktivitas fisik dan isolasi pakaian. Variabel independent tersebut akan mempengaruhi nilai PMV dan PPD.

Perhitungan kenyamanan termal adalah suatu metode untuk mengetahui sejauh mana suhu dan lingkungan udara dapat memberikan kenyamanan bagi manusia. Nilai variable yang menjadi parameter bersumber dari ASHRAE 55, SNI 03-6572-2001, dan Fisika Bangunan (2015). Pada saat ini, telah banyak software yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan kenyamanan termal tersebut. Dengan menggunakan *software*, perhitungan dapat dilakukan secara cepat dan akurat. *Software*



juga memungkinkan untuk memasukkan berbagai faktor seperti suhu udara, kelembaban udara, kecepatan udara, dan sebagainya. Dari situ, kita dapat mengetahui apakah lingkungan tersebut nyaman bagi manusia atau tidak (Mutmainah, Rifkah, and Razaki 2019).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil perhitungan kenyamanan termal dengan menggunakan software *CBE thermal comfort tool* dan memberikan usulan dari hasil eksperimen untuk mencapai tingkat kepuasan kenyamanan termal.

Rumusan masalah dari pertanyaan ini ialah (1) Bagaimana tingkat kenyamanan termal pada interior ruang kuliah dengan menggunakan software *CBE thermal comfort tool*? (2) Bagaimana solusi yang diberikan untuk mencapai kondisi ideal kenyamanan termal pada ruang kuliah?

## TINJAUAN PUSTAKA

Dari penelitian Calvindoro Mamesa, L.M.F Purwanto melakukan penelitian terkait kenyamanan termal pada Gereja Gedangan di Kota Semarang dengan judul penelitian Eksplorasi *Software CBE Thermal Comfort Tool* Sebagai Perhitungan Kenyamanan Termal. Penelitian ini berfokus pada eksplorasi *software* analisis kenyamanan termal dengan menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* dari bangunan Gereja Gedangan di Kota Semarang. Dengan bantuan *software CBE Thermal Comfort Tool* bertujuan untuk menghitung nilai PMV dan PPD pada Gereja Gedangan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi termal pada bangunan Gereja Gedangan masih belum tercapai nilai PMV dan PPD kenyamanan termal menggunakan *CBE Thermal Comfort tool* yang berdasarkan standar ASHRAE 55.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Istiningrum et al. (2017) melakukan penelitian tentang kenyamanan termal di ruang kelas dengan judul penelitian *Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah Pada Gedung Sekolah C Lantai 2 Politeknik Negeri Semarang*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ruang kelas mana saja yang telah melakukan perhitungan nilai kenyamanan termal dengan menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* untuk menghitung nilai PMV dan PPD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ruangan SC II-10 merupakan ruangan yang paling nyaman, dan juga menunjukkan bahwa kecepatan udara mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kenyamanan termal ruangan.

Atas dasar penelitian yang sudah dilakukan dikota yang sama, terlihat memiliki hasil pengukuran suhu, kelembaban udara, dan kecepatan udara yang berbeda. Hal ini menjadi ketertarikan penulis melakukan penelitian di kota berbeda yaitu di Gedung Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Kota Bekasi.

### Kenyamanan termal

Kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai keadaan pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal. Kondisi ini bisa tercapai ketika suhu, kelembaban udara, dan

sirkulasi udara di dalam ruangan sesuai dengan kebutuhan tubuh manusia (Santoso 2012).

Kenyamanan termal dapat diukur berdasarkan penggunaan model adaptif dari *Fanger Predicted Mean Vote* (PMV) yang mempertimbangkan kebutuhan individu. Dalam penelitian ini, kenyamanan termal dapat dicapai melalui pengaturan suhu dan kelembaban udara yang sesuai dengan preferensi individu serta pengaturan sirkulasi udara yang baik (Roslan dan Affendi, 2017).

Pengukuran kenyamanan termal adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kenyamanan seseorang dalam suatu lingkungan. Salah satu model untuk pengukuran kenyamanan termal adalah PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Model PMV digunakan untuk memprediksi rata-rata tingkat kenyamanan termal dalam suatu ruangan berdasarkan empat parameter utama, yaitu suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan udara, dan suhu radiasi. Sedangkan model PPD digunakan untuk memprediksi persentase orang yang merasa tidak nyaman dalam suatu ruangan (Fanger 1970).

### Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal

ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*) telah menentukan standar untuk mengevaluasi kenyamanan termal manusia berdasarkan enam faktor berikut:

#### 1. Temperatur udara

Suhu udara atau temperatur udara merupakan ukuran yang menggambarkan seberapa panas atau dingin suatu ruangan. Suhu udara merupakan salah satu dari faktor yang paling mempengaruhi kenyamanan termal suatu ruangan. Satuan pengukuran suhu udara adalah derajat Celcius, derajat Kelvin, derajat Fahrenheit dan derajat Reamur. Normalnya, orang akan merasa nyaman jika suhu tubuhnya berkisar 37°C (Meiranny 2017).

Jaringan tubuh sangat sensitif terhadap pengaruh suhu udara yang berbeda secara signifikan dari 37°C. Oleh karena itu, tubuh berusaha mempertahankan suhu tubuhnya sendiri meskipun suhu lingkungan berubah secara signifikan. Hal ini dicapai dengan menjaga keseimbangan antara panas yang hilang oleh tubuh dan panas yang diperoleh tubuh, yang timbul dari perubahan di dalam tubuh itu sendiri dan diserap dari luar (Kukus, Supit, and Lintong 2013).

Makin panas udara maka tubuh makin panas, terutama dengan cara konveksi melalui udara, juga konduksi dan radiasi dari material disekitarnya. Bila keseimbangan termal tubuh terganggu maka tubuh akan merasakan ketidaknyamanan termal (Latifah 2015).

Tabel 1. Standar temperatur udara

No.	Standar baku	Keterangan
1.	ASHRAE 55 (2017)	19.6°C – 27.9°C
2.	SNI 03-6572-2001	20°C - 30°C
3.	Fisika bangunan (2015)	24°C - 26°C

2. Kelembaban udara

Yang dimaksud dengan kelembaban udara adalah kandungan uap air atau uap air yang terdapat pada udara sekitar, sedangkan kelembaban relatif udara merupakan perbandingan antara kandungan uap air yang terdapat pada udara sekitar dengan kapasitas maksimum yang dimiliki udara sekitar dapat menahan uap air (Mamesa and Purwanto 2022).

Bila suhu udara tinggi maka kelembaban udaranya rendah, sebaliknya bila suhu udaranya rendah maka kelembaban udaranya tinggi. Kelembaban mempengaruhi proses pelepasan panas dalam tubuh manusia. Saat suhu udara sekitar tinggi, tubuh mempertahankan suhu tubuhnya dengan mengeluarkan uap air atau keringat, yang kemudian menguap ke udara. Proses penguapan ini menghilangkan panas yang sulit dilakukan bila kandungan air di udara cukup tinggi sehingga menimbulkan rasa panas dan tidak nyaman pada tubuh. kelembaban Beberapa faktor mempengaruhi nilai seperti Suhu dan tekanan udara, ketinggian, kecepatan udara, kepadatan udara dan radiasi matahari.

Tabel 2. Standar kelembaban udara

No.	Standar baku	Keterangan
1.	ASHRAE 55 (2017)	40% - 65%
2.	SNI 03-6572-2001	40% - 60%
3.	Fisika Bangunan	40% - 60%

3. Kecepatan udara

Kecepatan udara adalah kecepatan atau lambatnya aliran udara melewati suatu titik tertentu. Pengukuran kecepatan udara dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut anemometer. Kecepatan udara biasanya diukur dalam satuan seperti meter per detik (m/s) atau kilometer per jam (km/jam). Udara yang tidak bergerak di dalam ruangan menimbulkan suasana kaku di dalam ruangan dan membuat orang mudah berkeringat (Istiningrum et al. 2017)

Menurut Lippsmeier (1994) juga menyatakan bahwa patokan untuk kecepatan udara untuk mendapatkan kenyamanan secara termal adalah:

- 0,25 m/s ialah nyaman, tanpa dirasakan adanya gerakan udara.
- 0,25-0,5 m/s ialah nyaman, gerakan udara terasa.
- 1,0-1,5 m/s aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan.
- Diatas 1,5 m/s tidak menyenangkan.

Tabel 3. Standar kecepatan udara

No.	Standar baku	Keterangan
1.	ASHRAE 55 (2017)	0.2 m/s – 0.8 m/s
2.	Fisika bangunan (2015)	0.6 m/s – 1.5 m/s

4. Suhu radiasi

Suhu radiasi adalah panas yang dilepaskan oleh suatu benda yang mengeluarkan panas. Suhu radiasi lebih tinggi daripada suhu udara dalam hal cara kita melepaskan atau menyerap panas dari lingkungan sekitar. Setiap arah bangunan mempunyai besaran radiasi yang berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh orientasi bangunan terhadap lingkungan sekitar dan sinar matahari yang masuk (Istiningrum et al. 2017).

5. Isolasi pakaian

Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh sifat isolasi pakaian yang kita kenakan. Pakaian membatasi hilangnya panas tubuh. Pakaian tersebut kemudian diklasifikasikan menurut nilai isolasinya. Satuan yang biasa digunakan untuk mengukur insulasi pakaian adalah Clo. Batas kenyamanan pakaian adalah  $n \leq 0,5$  Clo. Nilai Clo total dapat dihitung dengan menjumlahkan nilai Clo pada masing-masing jenis pakaian (Istiningrum et al. 2017).

6. Tingkat metabolisme

Tingkat metabolisme adalah panas yang dihasilkan tubuh selama beraktivitas. Semakin banyak aktivitas fisik yang dilakukan, maka semakin banyak panas yang dihasilkan. Semakin banyak panas yang dihasilkan tubuh, maka semakin banyak pula panas yang harus dikeluarkan untuk mencegah tubuh kepanasan. Metabolisme diukur dalam METs (1 MET = 58.2 W/m<sup>2</sup> permukaan tubuh). Orang dewasa normal mempunyai luas permukaan kulit 1,7 m<sup>2</sup> dan seseorang dengan kenyamanan termal serta tingkat aktivitas 1 MET akan kehilangan panas sebesar atau sekitar 100 W. Saat menilai tingkat metabolisme, penting untuk mempertimbangkan rata-rata aktivitas manusia selama satu jam terakhir (Mamesa and Purwanto 2022).

**CBE Thermal Comfort Tool**

Penyelesaian persamaan PMV dan PPD memerlukan program komputer karena nilai hc dan tcl saling bergantung (Satwiko, 2009). Salah satu program tersebut adalah *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE 55* (2017).



Gambar 1. User interface CBE Thermal Comfort Tool

Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

*CBE Thermal Comfort Tool* adalah software penghitungan kenyamanan termal berbasis web gratis yang memungkinkan pengguna melakukan penghitungan dan visualisasi sesuai standar kenyamanan termal yang ada. Program ini menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data yang kita masukkan. Data tersebut berupa suhu udara, suhu radiasi, kecepatan udara, kelembaban relatif, nilai isolasi pakaian (clo) dan nilai metabolisme (met). PMV dan PPD yang dihasilkan mengacu pada ASHRAE-55.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen menggunakan *software CBE Thermal Comfort tool*. Metode eksperimen merupakan suatu metode penelitian yang bertujuan untuk menguji variabel yang satu terhadap variabel yang lain dan mengetahui hubungan sebab akibat antara kedua variabel tersebut.

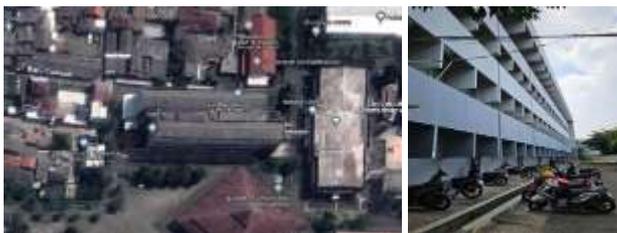
Untuk memperoleh data kenyamanan termal perlu mengukur suhu, kelembaban udara, kecepatan udara, aktivitas pengguna di dalam ruangan, dan jenis pakaian yang dikenakan pengguna di dalam ruangan. Pengukuran ini dilakukan pada waktu-waktu yang seharusnya digunakan untuk beraktivitas di ruangan, yaitu pada pukul 09.30, 13.30 dan 16.00.

Setelah semua data dikumpulkan, kenyamanan termal dihitung menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* untuk menentukan apakah ruangan sudah memenuhi standar kenyamanan termal. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan data ke dalam *user interface CBE Thermal Comfort Tool* berupa nilai suhu, kelembaban, kecepatan udara, nilai CLO dan MET yang diukur pada 3 titik pengukuran dan 3 waktu berbeda. Hasil pengukuran yang diberikan alat ukur kenyamanan termal CBE berisi pernyataan apakah kondisi termal suatu wilayah memenuhi standar atau tidak.

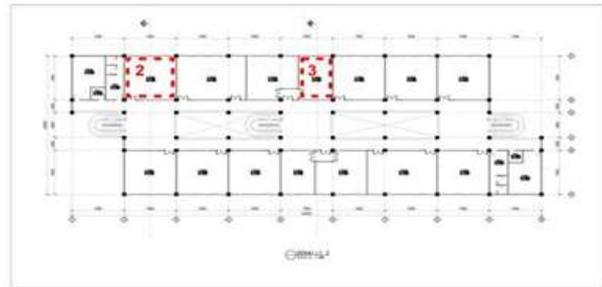
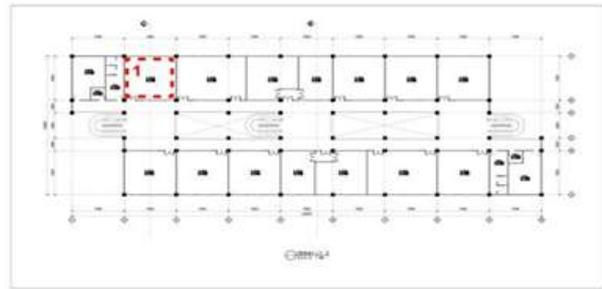
Jika kenyamanan tidak tercapai, maka dilakukan eksperimen khususnya dengan mengubah salah satu variabel independen sehingga mempengaruhi variabel dependen.

### Lokasi penelitian dan variabel

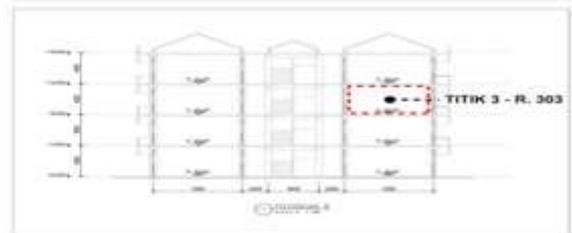
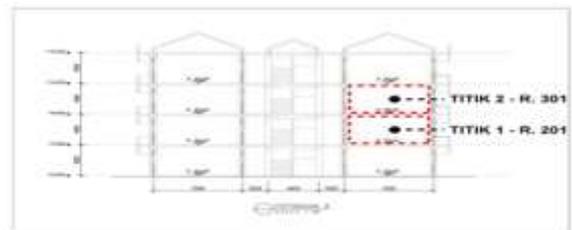
Lokasi Penelitian di gedung perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana. Penelitian ini dilakukan pada 3 ruang perkuliahan di lantai 2 dan 3 yang digunakan oleh mahasiswa arsitektur. 3 Ruang yang menjadi objek penelitian yaitu ruang 201, 301, dan 303 yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi dan Gedung Fakultas Teknik



Gambar 3. Denah lantai 2 dan lantai 3 Gedung Fakultas Teknik



Gambar 4. Potongan Gedung Fakultas Teknik

### Alat ukur yang digunakan

Alat ukur yang digunakan yaitu Krisbow 5 in 1 Environment pro 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 Krisbow 5 in 1 Environment Meter Pro pada gambar.



Gambar 5. Krisbow 5 in 1 Environment Meter Pro

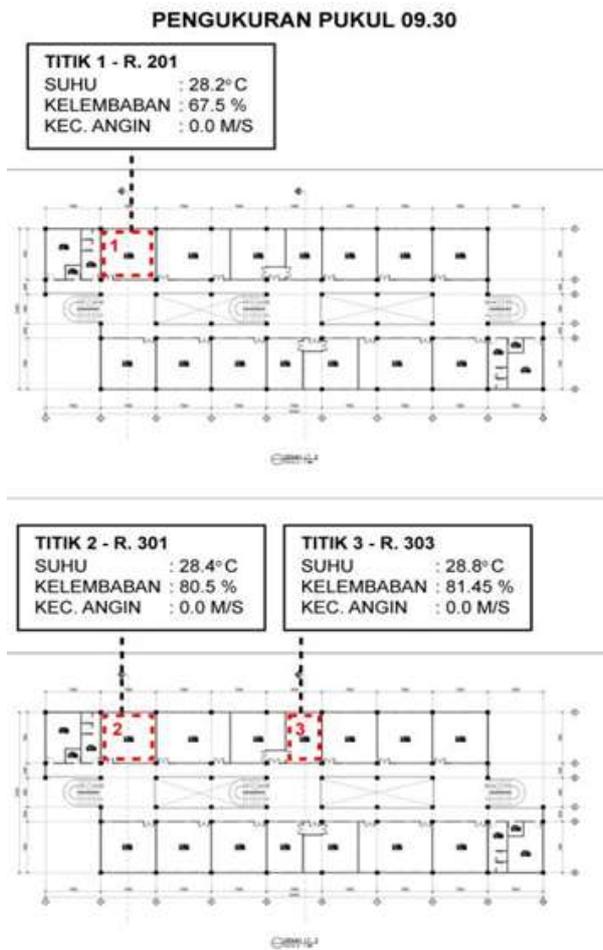
## TEMUAN DAN PEMBAHASAN

### Pengumpulan data

Dari tahap pengukuran/pengumpulan data di lapangan yang dilakukan pada pukul 09.30, 13.30, dan 16.00 diperoleh data sebagai berikut:

#### 1. Pukul 09.30

Pengukuran dimulai pukul 09.30 sebelum jam kuliah dimulai, hasil dari pengukuran pada setiap titik adalah sebagai berikut:



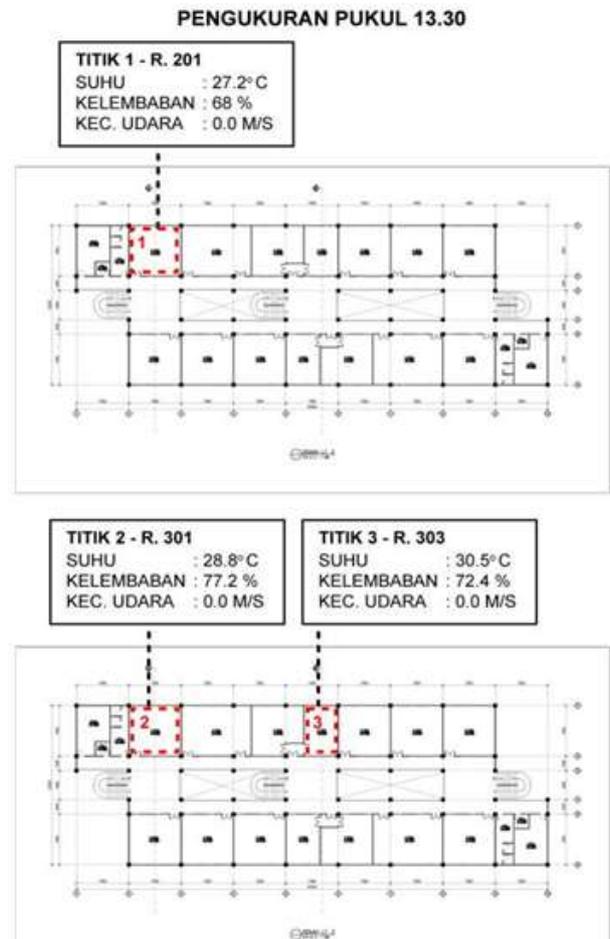
Gambar 6. Hasil Pengukuran Pukul 09.30



Gambar 7. Bukti Pengukuran Pukul 09.30

#### 2. Pukul 13.30

Pengukuran kedua dilakukan pada pukul 13.30 sebelum jam kuliah dimulai, hasil dari pengukuran pada setiap titik adalah sebagai berikut:



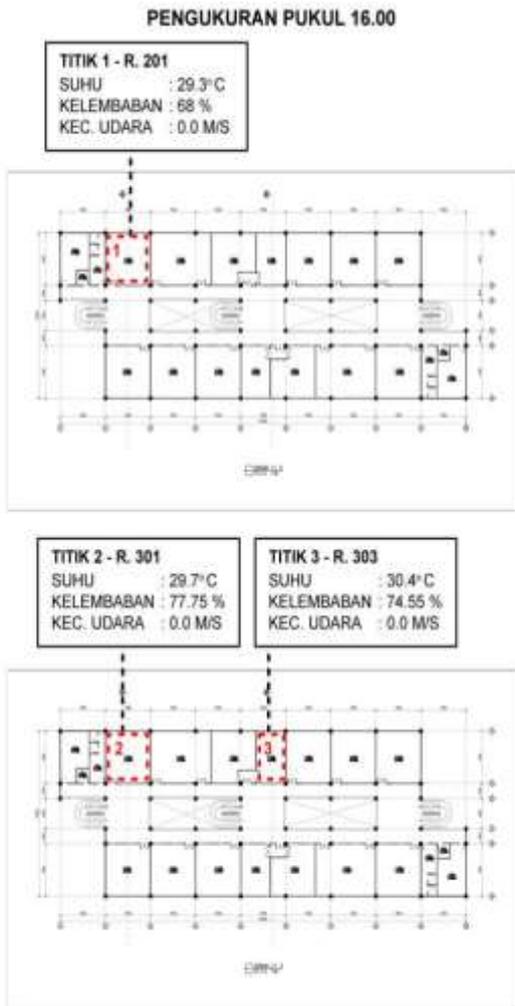
Gambar 8. Hasil Pengukuran Pukul 13.30



Gambar 9. Bukti Pengukuran Pukul 13.30

#### 3. Pukul 16.00

Pengukuran terakhir pada pukul 16.00 setelah jam kuliah selesai, hasil dari pengukuran pada setiap titik adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Hasil pengukuran pukul 16.00



Gambar 11. Bukti pengukuran pukul 16.00

Tabel 4. Tabel Nilai METs/jam dari aktivitas/kegiatan yang terjadi pada ruang kuliah

No.	Aktivitas/kegiatan	METS/jam
1.	Berdiri	1.2
2.	Duduk, dikelas, belajar	1.8

Sumber: Ainsworth et al. 2000

Tabel 5. Tabel nilai Clo dari jenis pakaian yang dipakai pada ruang kuliah

No.	Jenis pakaian	Clo
1.	Celana Panjang, kameja lengan pendek, Sepatu	0.59
2.	Celana Panjang, kameja lengan Panjang, sepatu	0.63

Sumber: ASHRAE 55, 2017

**Perhitungan kenyamanan Thermal dengan CBE Thermal Comfort Tool**

Setelah semua data dikumpulkan, maka dilakukan pengujian menggunakan *software CBE Comfort Thermal Tool* untuk mendapatkan nilai PMV dan PPD. Berikut adalah tabel hasil dari perhitungan pada setiap titik.

Tabel 6. Tabel hasil perhitungan dengan *CBE Thermal Comfort Tool*

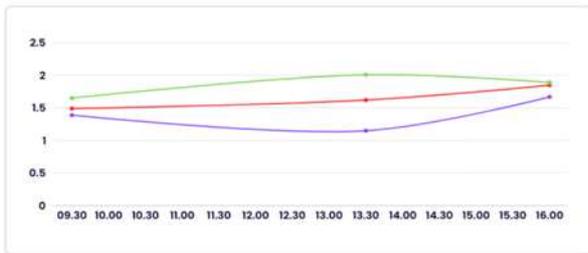
No.	Titik	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban	Kecepatan Udara	Met	Clo	PMV	PPD
1	Titik 1- R. 201	9.30	28.2	67.5	0.0 m/s	1.5	0.61	1.39	45%
2		13.30	27.2	68	0.0 m/s	1.5	0.61	1.15	33%
3		16.00	29.3	68	0.0 m/s	1.5	0.61	1.67	60%
4	Titik 2 – R.301	9.30	28.4	80.5	0.0 m/s	1.5	0.61	1.54	53%
5		13.30	28.8	77.2	0.0 m/s	1.5	0.61	1.62	57%
6		16.00	29.7	77.75	0.0 m/s	1.5	0.61	1.85	70%
7	Titik 3 - R. 303	9.30	28.8	81.45	0.0 m/s	1.5	0.61	1.65	59%
8		13.30	30.5	72.4	0.0 m/s	1.5	0.61	2.01	77%
9		16.00	30.4	74.55	0.0 m/s	1.5	0.61	1.89	72%

Hasil pengukuran termal pada tiga ruang kuliah di tiga waktu berbeda menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban udara semakin meningkat setiap jamnya, hal ini juga mempengaruhi

hasil perhitungan PMV dan PPD yang juga semakin meningkat setiap jamnya. Suatu ruangan dapat dikatakan nyaman secara termal menurut standard ASHRAE 55 jika nilai PMV antara -0,5

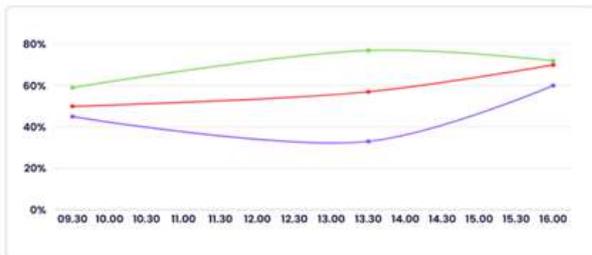
dan +0,5, sedangkan nilai PPD antara 5% dan 10%, jika lebih rendah atau lebih tinggi maka ruangan tersebut tergolong tidak nyaman secara termal. Pada tabel diatas terlihat nilai PMV dan PPD tidak memenuhi standar yang ada, nilai PMV lebih besar dari +0.5 dan PPD lebih besar dari 10% menunjukkan bahwa ruangan itu terasa panas. Di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan peningkatan PMV dan PPD pada setiap titik.

Grafik Nilai PMV



Titik 1 - R. 201    Titik 2 - R. 301    Titik 3 - R. 303  
 Gambar 12. Grafik nilai PMV di 3 titik pada 3 waktu

Grafik Nilai PPD



Titik 1 - R. 201    Titik 2 - R. 301    Titik 3 - R. 303  
 Gambar 13. Grafik nilai PPD di 3 titik pada 3 waktu

**Analisis hasil perhitungan**

Dari data yang didapat pada tiga ruang kuliah di tiga waktu berbeda masih belum tercapai, hal ini terlihat dari hasil perhitungan bisa disebabkan oleh suhu udara yang berlebihan, kelembaban udara yang tinggi dan kecepatan udara yang masih dibawah standar. Standar kenyamanan termal yang direkomendasikan untuk suhu, kelembaban, dan kecepatan udara berdasarkan ASHRAE 55 adalah 19,6°C hingga 27,9°C untuk suhu udara dan 40% hingga 65% untuk kelembaban udara, serta untuk standar kecepatan udara kisarannya antara 0,2 m/s

dan 0.8 m/s. Sedangkan standar kenyamanan termal berdasarkan Fisika Bangunan adalah 20°C hingga 30°C untuk suhu udara dan 40% hingga 60% untuk kelembaban udara, serta untuk standar kecepatan udara kisarannya 0.6 m/s hingga 1.5 m/s.

Pada dasarnya suhu udara, kelembaban dan kecepatan udara saling bergantung satu sama lain untuk menjamin kenyamanan termal dalam suatu ruangan. Suhu tubuh normal manusia adalah 37°C dan orang merasa nyaman pada suhu tersebut. Pada saat suhu lingkungan tinggi, tubuh manusia menjaga suhu tubuh agar tidak melebihi 37°C dengan dua cara:

1. Melalui pembuluh darah tubuh. Kulit mengembang dan darah bersirkulasi, membawa panas keluar dari tubuh.
2. Kelenjar keringat menghasilkan keringat yang menghilangkan panas dari tubuh melalui penguapan.

Masalah terjadi bila suhu udara tinggi dan kelembaban juga tinggi. Dalam hal ini, keringat tubuh yang berfungsi mengangkut panas tidak bisa cepat menguap karena kandungan air di udara sudah tinggi. Kecepatan udara juga mempunyai pengaruh besar terhadap kenyamanan termal dalam ruangan. Saat udara hangat dan tubuh mengeluarkan keringat, angin membantu menghilangkan uap air yang menempel dan memindahkan panas dari tubuh. Penjelasan tersebut menunjukkan bahwa kenyamanan termal belum tercapai di tiga ruang kuliah, yang pada umumnya suhu dan kelembabannya tinggi dan dipengaruhi oleh kurangnya pergerakan udara di dalam ruangan.

**Eksperimen**

Dari data yang didapat, maka dilakukan eksperimen dengan memodifikasi variable independent sebagai bagian dari penelitian ini. Apa yang akan mempengaruhi variabel dependen jika melakukan perubahan salah satu variabel independen dalam penelitian ini. Variabel independen yang dimodifikasi dalam pengujian ini adalah kecepatan udara dan suhu udara. Berdasarkan standar ASHRAE 55 dan Fisika Bangunan, kecepatan udara rata-rata ditambahkan 0.8 m/s. Jika tingkat kenyamanan termal masih belum tercapai, maka dilakukan perubahan pada variabel suhu udara dengan cara menggunakan AC (*air conditioner*) sehingga kenyamanan termal dapat tercapai. Berikut hasil perhitungan *software CBE Thermal Comfort Tool* terhadap kenyamanan termal pada tiga ruang kuliah ketika terjadi perubahan variabel kecepatan udara dan suhu udara sesuai standar yang berlaku.

Tabel 7. Tabel hasil perhitungan *CBE Thermal Comfort Tool* dengan perubahan variabel

No.	Titik	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban	Kecepatan Udara	Met	Clo	PMV	PPD
1	Titik 1- R. 201	9.30	28.2	67.5	0.8 m/s	1.5	0.61	0.38	8%
2		13.30	27.2	68	0.8 m/s	1.5	0.61	0.14	5%
3		16.00	28.5	68	0.8 m/s	1.5	0.61	0.49	10%
4	Titik 2 – R.301	9.30	27.5	80.5	0.8 m/s	1.5	0.61	0.34	7%
5		13.30	28	77.2	0.8 m/s	1.5	0.61	0.43	9%

No.	Titik	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban	Kecepatan Udara	Met	Clo	PMV	PPD
6		16.00	28	77.75	0.8 m/s	1.5	0.61	0.44	9%
7	Titik 3 - R. 303	9.30	27.5	81.45	0.8 m/s	1.5	0.61	0.35	8%
8		13.30	28	72.4	0.8 m/s	1.5	0.61	0.38	8%
9		16.00	28	74.55	0.8 m/s	1.5	0.61	0.40	8%

Berdasarkan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa perubahan variabel independen yaitu kecepatan udara dan suhu udara, maka dapat mempengaruhi variabel dependennya yaitu nilai PMV dan PPD. Pada perhitungan untuk tiga ruang kuliah dan tiga waktu berbeda, perlu untuk meningkatkan kecepatan udara dalam ruangan di 0.8 m/s untuk mencapai kenyamanan termal. Kemudian pada tiga ruang kuliah di beberapa waktu perlu diturunkan suhu udaranya untuk mencapai tingkat kenyamanan termal seperti di R. 201 pukul 16.00, R. 301 pukul 09.30, 13.30, dan 16.00, serta R. 303 pukul 09.30, 13.30, dan 16.00.

Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa kenyamanan termal dapat tercapai di tiga ruang kuliah dengan cara perubahan pada salah satu variabel independennya yaitu kecepatan udara dan suhu udara sehingga akan mempengaruhi variabel dependennya yaitu nilai PMV dan PPD.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban udara di tiga ruang kuliah Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana terus meningkat sedangkan kecepatan udara tetap pada 0 m/s atau Tidak ada pergerakan udara di dalam ruangan. Dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada tiga ruang kuliah di tiga waktu berbeda dimana nilai PMV dan PPD yang dihasilkan dari hasil perhitungan sangat tinggi dan melebihi standar yang dari ASHRAE-55 yaitu  $-0,5 < PMV < +0,5$  dan  $5\% < PPD < 10\%$ . Kenyamanan pada ruang kuliah tidak tercapai karena tidak adanya pergerakan udara di dalam ruangan (kecepatan udara 0 m/s). Hal ini ditunjukkan dengan mencoba perubahan variabel independen kecepatan udara dan suhu udara pada perhitungan kenyamanan termal menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* sehingga menghasilkan nilai PMV dan PPD yang rendah serta memenuhi standar kenyamanan termal yang berlaku.

Usulan yang dapat diberikan dari hasil eksperimen adalah dengan memberikan bukaan pada ruangan sehingga ada pergerakan udara yang masuk dan bisa menggunakan AC (*Air Conditioner*) pada beberapa ruangan yang masih belum terasa nyaman secara kenyamanan termal.

## REFERENSI

- Ainsworth, Barbara E., William L. Haskell, Melicia C. Whitt, Melinda L. Irwin, Ann M. Swartz, Scoot J. Strath, William L. O'Brien, et al. 2011. 'Compendium of Physical Activities: An Update of Activity Codes and MET Intensities'. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (Supplement): S498–516. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>.
- ASHRAE. 2020. 'Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy'. Ashrae.Org. 2020. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>.
- ASHRAE 55. 2020. 'Thermal Environment Conditions for Human Occupancy'. ASHARE 55. 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE\\_55#:~:text=The vertical air temperature difference,66–84 °F](https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55#:~:text=The%20vertical%20air%20temperature%20difference,66%E2%84%BF).
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Istiningrum, Demi Tria, Rr Leidy Arumintia, Muhamad Mukhlisin, and Mochammad Tri Rochadi. 2017. 'Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah Pada Gedung Sekolah C Lantai 2 Politeknik Negeri Semarang'. *Jurnal Pengembangan Teknik Sipil* 22 (1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32497/wahanats.v22i1.895>.
- Kukus, Yondry, Wenny Supit, and Fransiska Lintong. 2013. 'Suhu Tubuh : Homoestatis Dan Efek Terhadap Kinerja Tubuh Manusia.' *Jurnal Biomedik (JBM)* 1 (2). <https://doi.org/10.35790/jbm.1.2.2009.824>.
- Latifah, Nur Laela. 2015. *Fisika Bangunan 1*. Griya Kreasi.
- Mamesa, Calvindoro, and LMF Purwanto. 2022. 'Eksplorasi Software CBE Thermal Comfort Tool Sebagai Perhitungan Kenyamanan Termal'. *JoDA Journal of Digital Architecture* 1 (2): 90–97. <https://doi.org/10.24167/joda.v1i2.4305>.
- Meiranny, Arum. 2017. 'Kenyamanan Termal Selama Persalinan' 1 (2): 119–24.
- Mutmainah, Sufiah, Gadis Seprida Rifkah, and Humairoh Razaki. 2019. 'Kualitas Kenyamanan Termal Rumah Palimbangan Di Sungai Jingah'. *Jurnal Arsitektur Manusia Dan Lingkungan* 1 (2): 80–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.35747/jaml.v1i2.781>.
- Santoso, Eddy Imam. 2012. 'Kenyamanan Termal Indoor Pada Bangunan Di Daerah Beriklim Tropis Lembab'. *The Indonesian Green Technology Journal* 1 (1).
- Suhardi, Bambang, Pringgo Widyo Laksono, and Bektu Budisantosa. 2014. 'Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas Mahasiswa (Studi Kasus Ruang Kelas 303 Jurusan Teknik Mesin UNS)'. *Seminar Nasional IDEC*.



Available *online* at: <https://journal.gioarchitect.co.id/index.php/localengineering/issue/current>

## Local Engineering

Journal of Local Architecture and Civil Engineering

| Doi: 10.59810/localengineering | ISSN (Online) 2987-7555 |

