

EKSPLORASI SOFTWARE CBE THERMAL COMFORT TOOL SEBAGAI PERHITUNGAN KENYAMANAN TERMAL

Calvindoro Mamesa^{1*}, L.M.F Purwanto²

1,2 Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

*Correspondent Author : 18a10061@student.unika.ac.id

Tgl masuk naskah: 25-01-2022 • Tgl review I: 25-01-2022 • Tgl revisi: 23-02-2022 • Tgl review II: 30-02-2022

Tgl siap terbit 15-03-2022:

DOI : 10.24167/joda.v1i2.4305



Abstrak: Dalam menjalankan aktivitas dalam sebuah ruangan, tentunya setiap orang berharap ruang yang digunakannya nyaman secara termal. Bangunan dengan fungsi peribadatan tentunya menuntut akan tercapainya kenyamanan termal salah satunya adalah bangunan Gereja dimana kenyamanan termal akan berpengaruh terhadap fokus umatnya dalam mengikuti peribadatan di dalam Gereja. Gereja Gedangan adalah salah satu Gereja di Semarang yang memiliki banyak bukaan lebar guna masuknya penghawaan alami kedalam bangunan sehingga bangunan ini cukup menarik untuk dijadikan penelitian mengenai kenyamanan termal. Dewasa ini, perhitungan kenyamanan termal sendiri sudah banyak dilakukan dan seiring berjalannya waktu, teknologi memberi kemudahan kepada manusia dalam melakukan perhitungan kenyamanan termal terutama dalam menemukan nilai PMV dan PPD karena perhitungan ini cukup rumit tanpa bantuan software. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan cara mengumpulkan data yang berupa angka melalui pengukuran di lapangan kemudian akan dihitung dan dianalisis dengan *CBE Thermal Comfort Tool* dan jika belum tercapai kenyamanan termal maka dilakukan eksperimen agar kenyamanan termal dapat tercapai. Penelitian mengenai kenyamanan termal pada bangunan fungsi peribadatan sangat penting untuk mengetahui apakah bangunan tersebut memenuhi kenyamanan termal pengguna dan jika belum, maka bagaimanakah solusi yang dapat diambil untuk dapat mencapai kenyamanan termal tersebut. Hasil yang akan dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui nilai PMV dan PPD pada Gereja Gedangan dan solusi yang dapat diterapkan apabila kenyamanan termal pada Gereja Gedangan belum tercapai.

Kata kunci : Kenyamanan termal, PMV, PPD, CBE Thermal Comfort

Abstract: *In carrying out activities in a room, of course, everyone hopes that the space they use is thermally comfortable. Buildings with worship functions certainly demand the achievement of thermal comfort, one of which is a church building where thermal comfort will affect the focus of the people in attending worship in the church. Gedangan Church is one of the churches in Semarang which has many wide openings for the entry of natural air into the building so this building is quite interesting to be used as research on thermal comfort. Nowadays, the calculation of thermal comfort itself has been widely carried out and over time, technology has made it easier for humans to calculate thermal comfort, especially in finding PMV and PPD values because these calculations are quite complicated without the help of software. This study uses an experimental method, namely by collecting data in the form of numbers through measurements in the field which will then be calculated and analyzed with the CBE Thermal Comfort Tool and if thermal comfort has not been achieved, then experiments are carried out so that thermal comfort can be achieved. Research on thermal comfort in worship function buildings is very important to find out whether the building meets the user's thermal comfort and if not, then what are the solutions that can be taken to achieve this thermal comfort. The results to be achieved from this study are to determine the PMV and PPD values at the Gedangan Church and the solutions that can be applied if the thermal comfort at the Gedangan Church has not been achieved.*

Keywords: *Thermal comfort, PMV, PPD, CBE Thermal Comfort*



1. Pendahuluan

Kenyamanan termal adalah perasaan puas yang di dapat manusia dari kondisi termal lingkungan sekitarnya [1]

Bangunan dengan fungsi peribadatan tentunya menuntut akan tercapainya kenyamanan termal salah satunya adalah bangunan Gereja dimana kenyamanan termal akan berpengaruh terhadap fokus umatnya dalam mengikuti peribadatan di dalam Gereja. Gereja Gedangan adalah salah satu Gereja di Semarang yang memiliki banyak bukaan lebar guna masuknya penghawaan alami kedalam bangunan sehingga bangunan ini cukup menarik untuk dijadikan penelitian mengenai kenyamanan termal.

Dewasa ini, perhitungan kenyamanan termal sendiri sudah banyak dilakukan, perhitungan kenyamanan termal dapat dilakukan secara manual maupun digital. Umumnya perhitungan kenyamanan termal yang dikenalkan / diajarkan di perkuliahan adalah perhitungan secara manual namun seiring berkembangnya teknologi pada awal abad ke-20 memberi kemudahan manusia dalam melakukan berbagai hal termasuk dalam melakukan simulasi perhitungan kenyamanan termal secara digital / dengan menggunakan *software*. Perhitungan kenyamanan termal dengan cara manual tetap harus dikenalkan kepada mahasiswa namun tidak dapat dipungkiri bahwa perkembangan teknologi menuntut mahasiswa untuk dapat menguasai kemampuan dalam menggunakan *software* dalam perhitungan kenyamanan termal.

Penelitian mengenai kenyamanan termal pada Gereja Gedangan sangat penting untuk dapat mengetahui apakah kenyamanan termal sudah tercapai atau belum dan jika belum, hasil dari penelitian ini dapat menjadi saran untuk bangunan Gereja Gedangan kedepannya agar bisa memenuhi standar dari kenyamanan termal yang ada.

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mempelajari cara kerja dari *software* perhitungan kenyamanan termal dan untuk mengetahui kenyamanan termal pada Gereja Gedangan dengan menggunakan *software* CBE Thermal Comfort Tool dan cara mengolah kondisi ruang agar tercapai kenyamanan termal

Perumusan pertanyaan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana cara perhitungan kenyamanan termal dengan menggunakan *software* CBE Thermal Comfort Tool ?
2. Bagaimana pencapaian kenyamanan termal pada Gereja Gedangan dengan menggunakan *software* CBE Thermal Comfort Tool ?

2. Tinjauan Pustaka

Demi Tria, Rr Leidy, Mukhlisin, Tri Rochadi, 2017 melakukan penelitian terkait kenyamanan termal pada ruang kuliah dengan judul penelitian *Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah Pada Gedung Sekolah C Lantai 2 Politeknik Negeri Semarang*. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui ruang kuliah mana yang memiliki tingkat

kenyamanan termal yang lebih baik. Dalam melakukan perhitungan kenyamanan termal pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* CBE Thermal Comfort Tool untuk membantu perhitungan nilai PMV dan PPD. Hasil dari penelitian membuktikan bahwa ruang SC II – 10 merupakan ruang yang paling nyaman dan dibuktikan juga bahwa kecepatan angin sangat berperan terhadap tingkat kenyamanan termal suatu ruang [2].

Penelitian lain terkait kenyamanan termal juga dilakukan oleh Sufiah Mutmainah, Gadis Seprida, Humairoh Razaki, 2019 dengan judul *Kualitas Kenyamanan Termal Rumah Palimbangan di Sungai Jingham*. Dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah rumah palimbangan merupakan salah satu rumah tradisional yang mampu memberi kenyamanan termal pada penggunaannya. Penelitian ini menggunakan bantuan CBE Thermal Comfort Tool untuk mengetahui standar kenyamanan termal suatu ruang dan apakah rumah palimbangan masuk kedalam standar tersebut. Hasil dari penelitian mengatakan bahwa rumah palimbangan dapat dikatakan nyaman secara termal pada pukul 12.00 – 16.00 dimana kecepatan angin cukup besar pada waktu tersebut [3].

Dari beberapa penelitian terkait kenyamanan termal, Aisyah Nabilah, Lukman Noor, M Calvin, Try Ramadhan, 2021 melakukan penelitian terkait kenyamanan termal yang berfokus pada eksplorasi *software* analisis kenyamanan termal dengan menggunakan *software* RayMan. Judul dari penelitian tersebut adalah *Outdoor Thermal Comfort: Application of RayMan Tools*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis kenyamanan termal pada ruang kelas dan Lorong yang ada pada bangunan kampus ITB tepatnya di LABTEK VII. Penelitian ini menggunakan bantuan CBE Thermal Comfort Tool untuk menghitung nilai PMV dan PPD sedangkan RayMan untuk menghitung nilai PET. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kondisi termal pada bangunan LABTEK VII nyaman [4].

Berdasarkan dari penelitian yang pernah dilakukan, sudah ada beberapa penelitian terkait kenyamanan termal yang menggunakan bantuan *software* namun *software* hanya berperan dalam proses perhitungan saja dan untuk mendapatkan kesimpulan apakah ruang tersebut nyaman secara termal atau tidak. Belum terdapat penelitian mengenai kenyamanan termal pada bangunan Gereja dan juga pemanfaatan *software* analisis kenyamanan termal untuk mendapatkan solusi atau standar kenyamanan termal yang harus dipenuhi agar dapat tercapai kenyamanan termal pada bangunan yang di teliti.

2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan suatu perasaan puas yang di dapat oleh seseorang terhadap kondisi termal lingkungan tempat dia berada [1]. Berdasarkan teori, kenyamanan termal merupakan sensasi dingin dan panas yang dirasakan oleh sensor kulit manusia terhadap lingkungan tertentu [5]. Temperature yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perasaan tidak

nyaman yang kemudian akan berpengaruh terhadap emosi dan daya ingatan seseorang dan dapat menyebabkan menurunnya kinerja orang tersebut (Subekti et al., 1997).

2.2 Faktor – faktor yang mempengaruhi Kenyamanan Termal

Berdasarkan ASHRAE (2009) kenyamanan termal dipengaruhi oleh 6 faktor yaitu :

a. Temperatur Udara / Suhu Udara

Temperatur udara atau suhu udara merupakan suatu ukuran yang menggambarkan panas atau dinginnya sebuah ruang. Suhu udara adalah salah satu factor yang paling mempengaruhi kenyamanan termal suatu ruang [7]. Satuan untuk temperatur udara yaitu Celcius, Kelvin, Fahrenheit, dan Reamur. Manusia normalnya akan merasa nyaman jika suhu tubuhnya sekitar 37° Celcius. (Meiranny, 2017).

b. Temperatur Radiant / Suhu Radiant

Temperatur radiant atau suhu radiant adalah panas yang bersumber dari objek sekitar yang menghasilkan radiasi panas, salah satu object yang menghasilkan radiasi panas yaitu matahari (Meiranny, 2017). Alat ukur yang biasa dipakai untuk mengukur suhu radiant adalah termometer globe atau *black globe thermometer* [9].

c. Kelembaban Udara

Yang dimaksud dengan kelembaban udara adalah kadar air atau kadar uap air yang terdapat dalam udara sekitar sedangkan kelembaban udara relatif adalah perbandingan dari kadar uap air yang terkandung pada udara sekitar dengan kapasitas maksimal udara sekitar dapat menampung uap air [8].

Jika suhu udara sekitar tinggi maka kelembaban udara akan semakin rendah namun jika suhu udara rendah maka kelembaban udara akan semakin tinggi. Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pelepasan panas pada tubuh manusia [10], jika dalam suatu kondisi suhu udara sekitar panas maka tubuh akan mempertahankan suhu tubuhnya dengan mengeluarkan uap air atau keringat yang nantinya akan ter evaporasi ke udara, proses evaporasi ini akan membawa panas keluar dari tubuh namun proses evaporasi ini akan terhambat bila kandungan air di udara sudah cukup tinggi dan akibatnya tubuh akan merasa gerah dan tidak nyaman. Kelembaban udara dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu udara, tekanan udara, ketinggian suatu tempat, angin, kerapatan udara serta radiasi matahari [11]

d. Kecepatan Angin

Kecepatan angin adalah cepat atau lambatnya udara bergerak melewati suatu titik tertentu. Kecepatan udara diukur dengan satuan mil per jam. Udara yang tidak bergerak dalam suatu ruang akan menyebabkan suasana ruang yang kaku dan membuat orang dapat mudah berkeringat [12].

Kecepatan angin mempengaruhi cepat atau lambatnya pelepasan kalor pada tubuh seseorang. Angin yang bergerak terlalu cepat akan lebih banyak mengangkat uap air pada tubuh sehingga pelepasan kalor dalam tubuh akan lebih cepat menghasilkan rasa kedinginan pada tubuh, sedangkan angin yang bergerak lambat akan lebih sedikit mengangkat uap air pada tubuh sehingga pelepasan kalor di dalam tubuh terhambat yang menghasilkan perasaan gerah pada tubuh [13].

e. Tingkat Metabolisme

Semakin banyak aktivitas yang dilakukan manusia maka semakin banyak pula panas yang dikeluarkan oleh tubuh manusia [12]. Tingkat metabolisme diukur dalam satuan MET dimana 1MET = 60 W/m² permukaan tubuh.

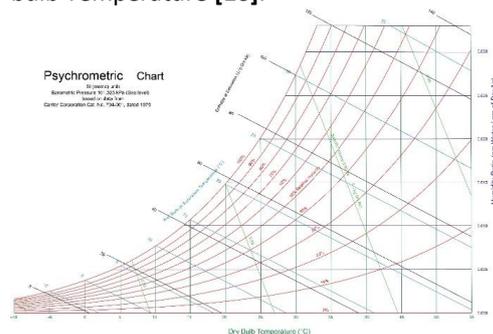
2.3 Metode Modeling Statis

Metode modeling statis merupakan hubungan antara 2 faktor kenyamanan termal yaitu faktor personal / individu dan faktor iklim yang dimana faktor personal atau individu meliputi tingkat metabolisme tubuh dan insulasi pakaian sedangkan faktor iklim meliputi suhu udara, suhu radian, kecepatan udara, dan kelembaban [14].

Berdasarkan PO Fanger metode modeling statis dibagi menjadi 2 model yaitu PMV dan PPD. PMV adalah *Predicted Mean Vote* dimana pada model ini nantinya akan diberi range skala dari -3 sampai +3, -3 menandakan sangat dingin, +3 menandakan sangat panas sedangkan 0 menandakan nyaman. Nilai dari PMV yang menandakan kondisi termal yang nyaman sendiri adalah antara -0.5 sampai +0.5. PPD atau *Predicted Percentage Dissatisfied* dikembangkan oleh PO Fanger karena model PMV belum menunjukkan skala tingkat kepuasan seseorang terhadap suatu kondisi termal. Metode modeling statis ini lebih cocok digunakan pada desain bangunan yang menggunakan sistem *air conditioner* [15].

2.4 Grafik Psikrometrik

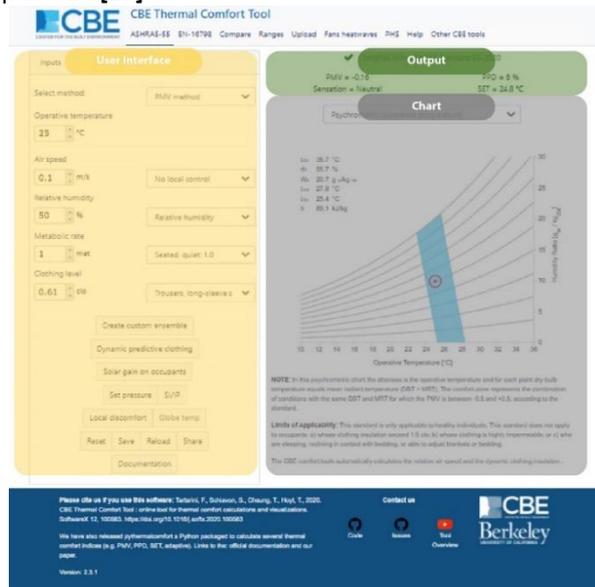
Grafik psikrometrik merupakan sebuah grafik yang menunjukkan sifat atau karakteristik dari udara. Dapat dilihat gambaran dari grafik psikrometrik pada gambar dibawah. Pada grafik di gambar dibawah dapat dilihat sumbu vertical pada grafik tersebut menandakan *Humidity Ratio* sedangkan sumbu horizontal adalah *Dry-bulb Temperature* [16].



Gambar-1. Grafik Psikrometrik

2.5 Software CBE Thermal Comfort Tool

CBE Thermal Comfort Tool adalah software perhitungan kenyamanan termal yang berbasis web gratis yang memungkinkan pengguna untuk melakukan perhitungan dan visualisasi sesuai dengan standar kenyamanan termal yang ada. Software ini memungkinkan penggunanya untuk melakukan perhitungan kenyamanan termal yang kompleks dan memvisualisasikannya tanpa memerlukan kode apapun, hanya diperlukan data berupa temperature, kecepatan udara, kelembaban, tingkat metabolisme, dan insulasi pakaian. [17]



Gambar-2. Tampilan CBE Thermal Comfort Tool
(sumber : <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>)

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah sebuah metode penelitian yang bertujuan untuk melakukan uji terhadap variabel satu dengan variabel lainnya dan hubungan sebab akibat dari kedua variabel tersebut [18].

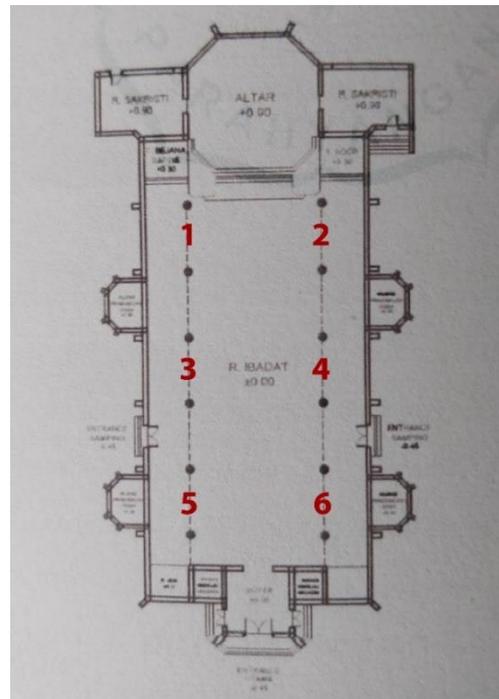
Hal pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran terhadap suhu, kelembaban, kecepatan udara, aktivitas pengguna ruangan, dan juga jenis pakaian yang dipakai oleh pengguna di dalam ruangan. Pengukuran ini dilakukan pada waktu dimana sekiranya tempat tersebut digunakan untuk berkegiatan yaitu pada pukul 8.30, 16.30, dan 18.00.

Selanjutnya setelah semua data terkumpul maka dilakukan perhitungan kenyamanan termal dengan menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* untuk membuktikan apakah ruangan tersebut sudah memenuhi standar dari kenyamanan termal ruangan. Perhitungan dilakukan dengan cara menginput data pada user interface CBE Thermal Comfort Tool berupa suhu, kelembaban, kecepatan udara, nilai Clo, dan MET yang telah diukur pada 6 titik pengukuran dan 3 waktu. Hasil pengukuran yang dikeluarkan oleh CBE Thermal Comfort Tool akan disertakan pernyataan apakah kondisi termal pada area tersebut sudah memenuhi standar atau belum.

Jika kenyamanan belum tercapai maka akan dilakukan eksperimen yaitu dengan mengubah parameter tertentu pada user interface CBE Thermal Comfort Tool sehingga dapat tercapai kenyamanan termal. Hasil dari eksperimen tersebutlah yang nantinya akan menjadi saran atau solusi agar kenyamanan termal pada ruang dapat tercapai.

3.1 Sampel dan Variabel

Sampel yang dipilih pada penelitian kenyamanan termal dengan menggunakan *software CBE Thermal Comfort* ini adalah Gereja Gedangan. Gereja Gedangan sendiri berlokasi di Jl. Ronggowarsito No.11, Rejomulyo, Kecamatan Semarang timur, Kota Semarang, Jawa Tengah. Pengukuran akan dilakukan pada 6 titik di ruang ibadat Gereja Gedangan yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar-3. Denah Gereja Gedangan
(Sumber : Dokumen Gereja)

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel bebas dan terikat. Variabel bebas disebut juga variabel stimulus atau penyebab yang akan mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu udara, kelembaban, kecepatan udara, tingkat metabolisme tubuh, dan insulasi pakaian. Sedangkan variabel terikat disebut juga variabel output atau akibat yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai PMV (*Predicted Mean Value*) dan PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*).

3.2 Operasional Alat

Alat ukur yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah digital thermometer Lutron seri YK 2001TM. Lutron seri YK 2001TM ini tidak hanya digunakan untuk pengukuran suhu saja namun juga dapat digunakan

untuk mengukur kelembaban udara, kecepatan udara, dan lux dengan mengganti probe nya.



Gambar-4. Lutron YK 2001TM
(Sumber : Data Pribadi)

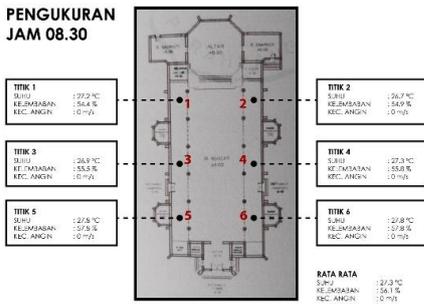
4. Pembahasan

4.1 Pengumpulan data

Dari tahap pengukuran / pengumpulan data di lapangan yang dilakukan pada pukul 8.30, 16.30, dan 18.00 maka di dapat data sebagai berikut.

1. Pukul 8.30

Pengukuran pertama dilakukan pada pagi hari pukul 8.30 sebelum misa dimulai, hasil dari pengukuran tersebut adalah sebagai berikut



Gambar-5. Hasil pengukuran pukul 8.30
(Sumber : Data Pribadi)

Pengukuran pukul 8.30



Gambar-6. Bukti pengukuran pukul 8.30
(Sumber : Data Pribadi)

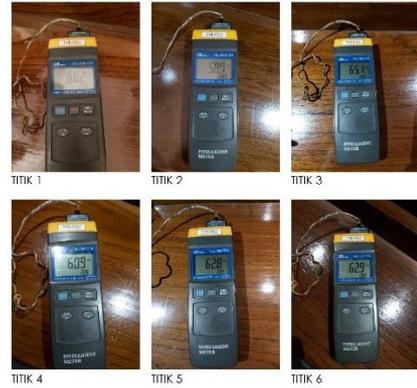
2. Pukul 16.30

Pengukuran kedua dilakukan pada sore hari pukul 16.30 sebelum misa dimulai, hasil dari pengukuran tersebut adalah sebagai berikut



Gambar-7. Hasil pengukuran pukul 16.30
(Sumber : Data Pribadi)

Pengukuran pukul 16.30



Gambar-8. Bukti pengukuran pukul 16.30
(Sumber : Data Pribadi)

3. Pukul 18.00

Pengukuran ketiga dilakukan pada sore hari pukul 18.00 setelah misa ke 2 (misa jam 16.30) selesai dengan hasil pengukuran sebagai berikut.



Gambar-9. Hasil pengukuran pukul 18.00
(Sumber : Data Pribadi)

Pengukuran pukul 18.00



Gambar-10. Bukti pengukuran pukul 18.00
(Sumber : Data Pribadi)

Dari proses pengumpulan data yang dilakukan, didapat juga list kegiatan dan jenis pakaian yang digunakan oleh pengguna ruang. List kegiatan dan jenis pakaian yang dipakai pengguna adalah sebagai berikut :

Tabel-1. Tabel nilai METs/jam dari kegiatan/aktivitas yang terjadi dalam Gereja [19]

No	Kegiatan / Aktivitas	METS/jam
1.	Berdiri	1.2
2.	Berdiri dengan membaca	1.8
3.	Berdoa	1
4.	Duduk ditempat ibadah	1
5.	Duduk ditempat ibadah, mengobrol	1.5
6.	Duduk ditempat ibadah, membaca kitab suci, buku	2

Tabel-2. Tabel nilai Clo dari jenis pakaian yang dipakai oleh pengguna Gereja berdasarkan ASHRAE [20]

No	Jenis pakaian	I _{cl} (clo)
1.	Celana Panjang, kemeja lengan pendek, sepatu	0.59
2.	Celana Panjang, kemeja lengan Panjang, sepatu	0.63
3.	Celana Panjang tipis, kaos, sepatu	0.25
4.	Celana Panjang tebal, kaos, sepatu	0.34

4.2 Perhitungan Kenyamanan Termal dengan CBE Thermal Comfort Tool

Dari perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan software CBE Thermal Comfort Tool berikut adalah tabel ringkasan hasil perhitungan tersebut.

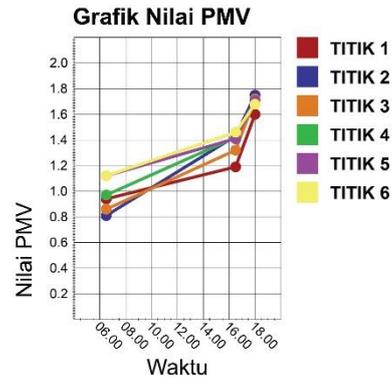
No	Titik	Waktu	Subu	Kelembaban	Kec. Udara	met	clo	PMV	PPD
1.	1	8.30	27.2°C	54.4%	0 m/s	1.4	0.44	0.94	24%
2.		16.30	27.8°C	66.2%	0 m/s	1.4	0.44	1.19	35%
3.		18.00	29.1°C	73.4%	0 m/s	1.4	0.44	1.60	56%
4.	2	8.30	26.7°C	54.9%	0 m/s	1.4	0.44	0.81	19%
5.		16.30	28.9°C	58.7%	0 m/s	1.4	0.44	1.43	47%
6.		18.00	29.7°C	69.7%	0 m/s	1.4	0.44	1.74	64%
7.	3	8.30	26.9°C	55.5%	0 m/s	1.4	0.44	0.86	21%
8.		16.30	28.3°C	65.1%	0 m/s	1.4	0.44	1.32	41%
9.		18.00	29.6°C	70.7%	0 m/s	1.4	0.44	1.72	63%
10.	4	8.30	27.3°C	55.8%	0 m/s	1.4	0.44	0.97	25%
11.		16.30	28.8°C	60.9%	0 m/s	1.4	0.44	1.42	47%
12.		18.00	29.6°C	68.5%	0 m/s	1.4	0.44	1.70	62%
13.	5	8.30	27.8°C	57.8%	0 m/s	1.4	0.44	1.12	32%
14.		16.30	28.7°C	62.8%	0 m/s	1.4	0.44	1.41	46%
15.		18.00	29.6°C	69.7%	0 m/s	1.4	0.44	1.71	62%
16.	6	8.30	27.8°C	57.8%	0 m/s	1.4	0.44	1.12	32%
17.		16.30	28.9°C	62.9%	0 m/s	1.4	0.44	1.46	49%

Gambar-11. Tabel ringkasan hasil perhitungan dengan CBE Thermal Comfort Tool

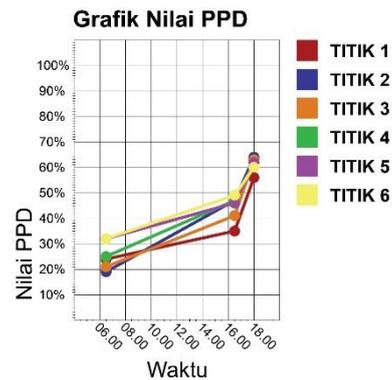
(Sumber : Data Pribadi)

Hasil dari proses pengukuran termal di 3 waktu yang berbeda menunjukkan adanya kenaikan suhu dan kelembaban di tiap jamnya dan hal tersebut berpengaruh juga terdapat hasil perhitungan PMV dan PPD dimana hasilnya juga semakin meningkat tiap

jamnya. Ruang dapat dinyatakan nyaman secara termal jika nilai PMV nya berkisar antara -0.5 sampai +0.5 sedangkan untuk nilai PPD nya berkisar antara 5% sampai 10% jika kurang atau lebih dari itu maka ruang dinyatakan tidak nyaman secara termal [1]. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa nilai PMV dan PPD tidak memenuhi standar yang ada, nilai PMV yang lebih dari +0.5 menandakan bahwa ruangan cenderung panas. Berikut dibawah ini adalah grafik yang menunjukkan kenaikan nilai PMV dan PPD di setiap titik pada 3 waktu.



Gambar-12. Grafik nilai PMV disetiap titik pada 3 waktu (Sumber : Data Pribadi)



Gambar-13. Grafik nilai PPD disetiap titik pada 3 waktu (Sumber : Data Pribadi)

4.3 Analisis Hasil Perhitungan

Kenyamanan termal pada ruang ibadat di Gereja Gedangan belum tercapai dapat disebabkan oleh kondisi suhu udara yang terlalu tinggi, kelembaban yang tinggi, dan juga tidak adanya pergerakan udara di dalam ruang. Standar kenyamanan termal yang disarankan untuk suhu, kelembaban, dan kecepatan udara berdasarkan ASHRAE 55 adalah 67°F - 82°F atau sama dengan 19.4°C – 27.8°C untuk suhu udara, kurang dari 65% untuk kelembaban, Sedangkan standar untuk kecepatan udara berkisar antara 0.2 m/s – 0.8 m/s Pada dasarnya suhu udara, kelembaban dan kecepatan udara berhubungan satu sama lain untuk menciptakan kenyamanan termal suatu ruang. Suhu tubuh manusia normal adalah 37°C dan pada suhu tubuh tersebut lah manusia merasa nyaman, jika dalam suatu kondisi ruang memiliki suhu yang tinggi maka tubuh manusia akan

mempertahankan suhu tubuh agar tidak melebihi 37°C dengan dua cara, yang pertama adalah pembuluh darah pada kulit akan melebar dan mengalirkan darah yang akan membawa panas keluar dari tubuh, sedangkan cara kedua adalah kelenjar keringat akan menghasilkan keringat yang dimana keringat tersebut akan membawa panas keluar dari tubuh ketika mengalami evaporasi. Masalah terjadi ketika suhu udara tinggi dan kelembaban udara juga tinggi, ketika hal tersebut terjadi keringat pada tubuh yang membawa panas tidak akan bisa ter-evaporasi dengan cepat dikarenakan kadar air di udara sudah tinggi. Kecepatan udara juga sangat berpengaruh dalam menciptakan kenyamanan termal pada ruang dimana ketika udara panas dan tubuh menghasilkan keringat angin akan membantu mengangkat uap air yang menempel dan membawa panas dari tubuh keluar. Dari penjelasan tersebutlah diketahui mengapa kenyamanan termal pada ruang ibadat di Gereja Gedangan belum tercapai dimana suhu dan kelembaban cenderung tinggi dan di dukung dengan tidak adanya pergerakan udara dalam ruangan.

4.4 Eksperimen

Dari penjelasan diatas maka dilakukan eksperimen pada penelitian, bagaimana jika variabel bebas dalam penelitian ini dirubah, apakah hal tersebut akan mempengaruhi variabel terikatnya. Variabel bebas yang akan diubah pada penelitian ini yaitu kecepatan angin dimana pada setiap waktu dan titik pengukuran akan diberi kecepatan angin dengan range 0.2 m/s hingga 0.8 m/s. Berikut adalah hasil perhitungan CBE Thermal Comfort Tool pada ruang ibadat Gereja Gedangan dengan mengubah parameter kecepatan angin sesuai dengan standar yang ada.

No	Titik	Waktu	Suhu	Kelembaban	Kec. Udara	met	clo	PMV	PPD
1.	1	8.30	27.2°C	54.4%	0.2m/s	1.4	0.44	0.32	7%
2.		16.30	27.8°C	66.2%	0.3m/s	1.4	0.44	0.40	8%
3.		18.00	29.1°C	73.4%	0.7m/s	1.4	0.44	0.46	9%
4.	2	8.30	26.7°C	54.9%	0.2m/s	1.4	0.44	0.20	6%
5.		16.30	28.9°C	58.7%	0.4m/s	1.4	0.44	0.50	10%
6.		18.00	29.7°C	69.7%	0.8m/s	1.4	0.44	0.53	11%
7.	3	8.30	26.9°C	55.5%	0.2m/s	1.4	0.44	0.25	6%
8.		16.30	28.3°C	65.1%	0.4m/s	1.4	0.44	0.40	8%
9.		18.00	29.6°C	70.7%	0.8m/s	1.4	0.44	0.51	10%
10.	4	8.30	27.3°C	55.8%	0.2m/s	1.4	0.44	0.36	8%
11.		16.30	28.8°C	60.9%	0.4m/s	1.4	0.44	0.49	10%
12.		18.00	29.6°C	68.5%	0.8m/s	1.4	0.44	0.49	10%
13.	5	8.30	27.8°C	57.8%	0.3m/s	1.4	0.44	0.33	7%
14.		16.30	28.7°C	62.8%	0.4m/s	1.4	0.44	0.48	10%
15.		18.00	29.6°C	69.7%	0.8m/s	1.4	0.44	0.50	10%
16.	6	8.30	27.8°C	57.8%	0.3m/s	1.4	0.44	0.33	7%
17.		16.30	28.9°C	62.9%	0.5m/s	1.4	0.44	0.44	9%
18.		18.00	29.5°C	68.6%	0.8m/s	1.4	0.44	0.46	9%

Gambar-14. Tabel hasil perhitungan CBE Thermal Comfort Tool dengan mengubah parameter kecepatan udara

Berdasarkan dari perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa dengan merubah variabel bebas

berupa kecepatan angin maka akan mempengaruhi variabel terikatnya yaitu nilai PMV dan PPD. Pada perhitungan di pukul 8.30 perlu menambah kecepatan udara sebesar 0.2 m/s – 0.3 m/s untuk mencapai kenyamanan termal, pada perhitungan pukul 16.30 perlu menambah kecepatan udara sebesar 0.3 m/s – 0.5 m/s untuk mencapai kenyamanan termal, sedangkan untuk perhitungan pukul 18.00 perlu menambah kecepatan udara sebesar 0.7 m/s – 0.8 m/s untuk mencapai kenyamanan termal. Pada perhitungan tersebut juga terlihat bahwa kenyamanan termal masih belum tercapai pada beberapa titik ruang pada pukul 18.00.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat kesimpulan bahwa suhu udara dan kelembaban pada ruang ibadat di Gereja Gedangan terus meningkat sedangkan kecepatan udara tetap pada 0 m/s atau tidak ada pergerakan udara dalam ruang. Dari penelitian ini pula di dapat kesimpulan bahwa kenyamanan termal di ruang ibadat Gereja Gedangan belum tercapai, dimana nilai PMV dan PPD dari hasil perhitungan sangat tinggi melebihi batas standar yang ada yaitu $-0,5 < PMV < +0,5$ dan $5% < PPD < 10%$. Kenyamanan pada ruang ibadat tersebut tidak tercapai dikarenakan tidak ada pergerakan udara pada ruang (kecepatan udara 0 m/s) hal ini terbukti dengan mengubah parameter kecepatan udara pada perhitungan kenyamanan termal menggunakan CBE Thermal Comfort Tool menghasilkan nilai PMV dan PPD yang rendah dan sesuai dengan standar kenyamanan termal yang ada. Namun pada beberapa titik pada pengukuran pukul 18.00 belum tercapai kenyamanan termalnya meskipun sudah mencoba untuk ditambah kecepatannya, hal ini disebabkan karena suhu udara dan kelembaban yang sudah terlalu tinggi.

Pustaka

[1] C. Ekici, "A review of thermal comfort and method of using Fanger's PMV equation," 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/289201295>

[2] D. Tria Istiningrum, R. W. Leidy Arumintia, M. Mukhlisin, M. Tri Rochadi, J. H. Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang Jl Sudarto, and S. Tembalang Semarang, "Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah Pada Gedung Sekolah C Lantai 2 Politeknik Negeri Semarang," 2017.

[3] S. Mutmainah, G. S. Rifkah, and H. Razaki¹, "Kualitas Kenyamanan Termal Rumah Palimbangan Di Sungai Jingah (Thermal Comfort Quality of Palimbangan House in Sungai Jingah)," Oktober, 2019. [Online]. Available: <http://journal.umbjm.ac.id/index.php/jamang/80>

- [4] A. Nabilah, L. N. Hakim, M. C. Fawzy, and T. Ramadhan, "Outdoor Thermal Comfort: Application of RayMan Tools," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Apr. 2021, vol. 738, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/738/1/012008.
- [5] M. Amin, H. Danusputra, E. Prianto, and M. T. Arsitektur, "Pengaruh Bukaannya Terhadap Kenyamanan Thermal pada Bangunan Publik di Daerah Tropis (Studi kasus : Masjid Raya Al-Mashun Medan) (***) Eddy Prianto, Phone : 081325514192, E-Mail," 2004.
- [6] E. A. Subekti, Suryanto, and S. Handoyo, "Pengaruh Temperatur dan Kepadatan (Density) terhadap Kemampuan Ingatan," 1997, Accessed: Sep. 29, 2021. [Online]. Available: <http://lib.unair.ac.id>
- [7] O. Tri, H. Karyono, P. Pengukuhan, G. Besar, T. Dalam, and I. Arsitektur, "Dari Kenyamanan Termis Hingga Pemanasan Bumi: Suatu Tinjauan Arsitektur Dan Energi," 2007.
- [8] A. Meiranny, "Kenyamanan Termal Selama Persalinan," 2017.
- [9] Hendra, "Tekanan Panas Dan Metode Pengukurannya Di Tempat Kerja," 2019.
- [10] I. Nengah Sandi *et al.*, "Pengaruh Kelembaban Relatif Terhadap Perubahan Suhu Tubuh Latihan," 2017.
- [11] B. Talarosha, "Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan," 2005.
- [12] L. Susanti and N. Aulia, "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah Sma Negeri Di Kota Padang," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 310–316, 2013.
- [13] Satwiko, "Fisika Bangunan," 2008.
- [14] Dr. Sugini, "Kenyamanan Termal Ruang Konsep dan Penerapan pada Desain," 2014.
- [15] "Aspek Kenyamanan Termal pada Arsitektural Indonesia | ALTA Integra," 2019. <https://altaintegra.com/id/publikasi/artikel/asp-ek-kenyamanan-termal-pada-arsitektural-indonesia/> (accessed Sep. 22, 2021).
- [16] Ahmad Z, Maulana Z, and Kencanaga G, "Aplikasi Psychrometric Chart," 2020.
- [17] F. Tartarini, S. Schiavon, T. Cheung, and T. Hoyt, "CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations," *SoftwareX*, vol. 12, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.softx.2020.100563.
- [18] N. S. Sukmadinata, *Metode Penelitian Pendidikan / Nana Syaodih Sukmadinata*. Remaja Rosdakarya, 2006.
- [19] B. E. Ainsworth *et al.*, "Compendium of physical activities: An update of activity codes and MET intensities," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 32, no. 9 SUPPL., 2000, doi: 10.1097/00005768-200009001-00009.
- [20] "ANSI/ASHRAE Addendum h to ANSI/ASHRAE Standard 55-2012," 2013, Accessed: Jan. 11, 2022. [Online]. Available: www.ashrae.org