

Evaluasi Kenyamanan Termal Gereja Kristen Jawa Salatiga Menggunakan Metode PMV

Eka Kurniawan Adi Prabawa^{1*}, L.M.F. Purwanto², Antonius Ardiyanto³

^{1,2,3}Program Studi Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Jawa Tengah

Korespondensi Author: 20a20013@student.unika.ac.id¹, lmf_purwanto@unika.ac.id², ardiyanto@unika.ac.id³

ABSTRACT

Salatiga is located in a mountainous area with cool air, with temperatures ranging from 19,45°C-30°C, an average humidity of 78%. With good environmental conditions can be used to natural ventilation in buildings. GKJ Salatiga is a building that has wide opening for natural ventilation, so it is interesting to do research on thermal comfort. The research aims to find out how environmental thermal conditions affect the comfort of space in worship buildings, especially GKJ Salatiga. Measurements of temperature, humidity, and air velocity were carried out at 3 different worship times at 4 measuring points area. The method for obtaining thermal comfort uses the PMV principle which is calculated using CBE (Center for the Build Environment) software. The results of this study showed that in the morning worship the thermal comfort sensation scale in worship rooms 1, 2 and 4 reached neutral, while in room 3 it was slightly warm. In the afternoon worship, worship room 4 reaches a warm sensation scale, while in rooms 1, 2, and 3 it is slightly warm. In the afternoon worship, worship room 3 reaches a warm sensation scale, while in rooms 1, 2, and 4 it is slightly warm.

Keywords: thermal comfort, church, salatiga, PMV, CBE

ABSTRAK

Kota Salatiga terletak pada kondisi geografis daerah perbukitan yang berhawa sejuk, dengan suhu berkisar antara 19,45°C-30°C dan kelembaban rata-rata 78%. Dengan kondisi lingkungan yang sejuk dapat dimanfaatkan untuk menunjang penghawaan alami dalam bangunan. GKJ Salatiga merupakan bangunan ibadah yang memiliki bukaan lebar untuk penghawaan alami sehingga menarik untuk dilakukan penelitian terkait kenyamanan termal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana kondisi termal lingkungan mempengaruhi kenyamanan ruang di bangunan ibadah khususnya GKJ Salatiga. Pengukuran temperatur, kelembaban, dan kecepatan udara dilaksanakan pada 3 waktu ibadah yang berbeda di 4 titik ukur. Metode untuk mendapatkan kenyamanan termal menggunakan prinsip PMV yang dihitung menggunakan software CBE (*Center for the Build Environment*). Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa nilai PMV mencapai standar $-0,5 < PMV < +0,5$ hanya pada ibadah pagi di ruang ibadah 1, 2 dan 4 dengan sensasi *neutral*, sedangkan di ruang 3 mencapai *slightly warm*. Namun pada ibadah siang, ruang ibadah 4 mencapai skala sensasi warm, sedangkan di ruang 1, 2, dan 3 mencapai *slightly warm*. Pada ibadah sore, ruang ibadah 3 mencapai skala sensasi *warm*, sedangkan di ruang 1, 2, dan 4 mencapai *slightly warm*.

Kata Kunci: kenyamanan termal, gereja, salatiga, PMV, CBE

1. PENDAHULUAN

Salah satu tujuan dalam arsitektur adalah mendesain bangunan yang memiliki kondisi termal yang nyaman dalam melakukan aktivitas termasuk beribadah. Kondisi dan kenyamanan termal mempengaruhi tingkat kenyamanan jemaat dalam melaksanakan ibadah di gereja (Ketaren & Karyono, 2016). Kenyamanan pengguna dalam melakukan aktivitas ibadah dipengaruhi oleh kenyamanan termal tidak hanya di gereja tetapi juga ibadah di masjid bagi umat muslim (Taqwim S et al., 2020). Kenyamanan termal (Idham, 2016) merupakan fenomena psikologis yang merupakan respon terhadap kondisi lingkungan termal. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti temperature udara, humidity, radiant temperatur, pergerakan udara, serta faktor pribadi seperti pakaian dan metabolisme.

Penelitian ini mengambil lokasi di Gereja Kristen Jawa (GKJ) Salatiga. Terletak di Kota Salatiga yang secara topografi berada pada ketinggian 450 - 825 mdpl yang berhawa

sejuk, terpengaruh kondisi geografis daerah perbukitan di dataran tinggi. Menurut data Weatherspark, (2016) suhu rata-rata kota Salatiga berkisar antara 19°C – 30°C dengan kelembaban 71% - 98%. Kecepatan angin antara 1,7m/s hingga 3,1m/s di Salatiga mengalami variasi musiman kecil sepanjang tahun. Bulan paling tidak berangin dalam setahun di Salatiga antara Maret-April sedangkan bulan paling berangin dalam setahun di Salatiga adalah Agustus-September (*Climate and Average Weather Year Round in Salatiga*, n.d.). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi termal ruang ibadah dari tiga waktu pelaksanaan ibadah, yakni pagi, siang dan sore hari, sehingga dapat diketahui waktu ibadah mana yang paling nyaman secara termal dan waktu ibadah yang paling tidak nyaman. Dan dapat memberikan solusi apabila ditemukan kondisi termal yang tidak memenuhi standar.

2. KAJIAN PUSTAKA

Kenyamanan termal pada prinsipnya adalah bagaimana mengkondisikan keseimbangan suhu tubuh dan lingkungan sekitar. Ketidaknyamanan akan terjadi ketika tubuh merasakan kepanasan atau kedinginan karena adanya perbedaan suhu tubuh manusia dan lingkungan yang signifikan. Kenyamanan termal ruang pada dasarnya adalah bagaimana menciptakan kondisi dari beberapa faktor yang berhubungan antara suhu udara, humidity dan pergerakan udara. Standar kenyamanan termal yang disarankan (*ASHRAE Standard 55-2012*, n.d.) adalah saat kondisi temperature antara 19,4°C – 27.8°C, dengan kelembaban berkisar 65%, dan pergerakan udara dengan kecepatan antara 0,2 m/s hingga 0,8 m/s.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Lestari, di Gereja Blenduk Semarang menemukan bahwa pada awalnya dibangunnya bangunan cagar budaya ini sebenarnya didesain dengan memperhatikan kenyamanan termal, dilihat dari desain ventilasi untuk pergerakan udara, namun seiring berjalannya waktu kondisi lingkungan menjadi berbeda mengakibatkan ketidaknyamanan termal. Hasil penelitian Lestari menunjukkan bahwa pergerakan udara dengan kecepatan 1m/s akan membuat ruang menjadi nyaman. Namun jika kecepatan dibawah 0,1m/s akan membuat ruangan terasa pengap. Sebaliknya jika pergerakan udara melebihi 1m/s juga akan membuat ruangan menjadi tidak nyaman. (Lestari, 2011). Kenyamanan juga dipengaruhi oleh desain ventilasi (Dewandaru et al, 2019), Dewandaru yang melakukan penelitian di Gereja Santo Petrus Sambiroto menegaskan bahwa jika lubang ventilasi diperbesar maka pergerakan udara akan menjadi besar sehingga suhu efektif dalam ruang menjadi lebih kecil. Selain ukuran ventilasi, penelitian lain yang dilakukan Sekatia di Gereja Katedral Semarang menunjukkan bahwa tata letak ventilasi dan orientasi bangunan juga mempengaruhi pergerakan udara yang terjadi dalam ruang (Sekatia, 2015). Pergerakan udara akan membuat pertukaran udara dalam ruangan dengan udara bersih dari luar, sehingga membuat ruangan menjadi lebih sehat. Penelitian yang dilakukan oleh (Webb, 2015) menemukan bahwa sistem ventilasi dan tata udara dalam ruang akan mempengaruhi pergerakan udara dan suhu efektif dalam ruang (Webb, 2015).

Di daerah tropis, pergerakan udara perlu direncanakan dengan baik karena akan menentukan tingkat kenyamanan termal. Pergerakan udara juga membantu proses penguapan agar kelembaban tidak tinggi. Kipas angin adalah alat penyejukan udara mekanis yang paling sederhana yang dapat membantu pergerakan udara, namun putaran kipas harus sekecil mungkin agar gerak udara tidak melampaui batas kenyamanan. (Frick et al., 2008).

Faktor – faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Kondisi termal suatu ruangan agar nyaman dipengaruhi oleh enam faktor (*ASHRAE Standard 55-2012*, n.d.) yaitu :

a. Temperatur

Temperatur udara merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan kenyamanan. Perpindahan panas baik dari luar maupun dari dalam bangunan akan menentukan suhu dalam ruang. terhadap tingkat kenyamanan termal. Kenyamanan termal antara daerah beriklim tropis berbeda dengan daerah iklim lainnya (SNI 03-6572-2001, 2001), temperatur akan dirasakan nyaman di daerah tropis adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Zona Nyaman Temperatur Udara Tropis

Kriteria	Temperatur
Sejuk – nyaman, Ambang batas	20,5°C - 22,8°C 23°C
Nyaman – optimal Ambang batas	22,8°C – 25,8°C 28°C
Panas – nyaman Ambang batas	25,8°C – 27,1°C 31°C

(Sumber: SNI 03 6572 2001)

b. Kelembaban

Kelembaban udara adalah kandungan air di udara. Kelembaban relative (RH) adalah perbandingan antara jumlah uap air di udara dan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung di udara. Penguapan keringat akan menurunkan temperatur di permukaan kulit. Lingkungan dengan kelembaban tinggi akan mencegah penguapan keringat dari kulit. Sementara itu lingkungan yang panas menyebabkan keringat sedikit menguap karena kelembaban yang tinggi. Kelembaban yang dapat dikatakan nyaman adalah kelembaban 30% hingga 70% (Frick et al., 2008).

c. Pergerakan udara

Pergerakan udara dapat mengurangi suhu yang dirasakan pada kulit sekitar 2⁰C. Kipas angin dapat digunakan untuk mencapai pergerakan udara (Idham, 2016). Pergerakan udara yang mengenai permukaan kulit akan mempercepat pelepasan panas secara konveksi (Frick et al., 2008).

d. Pakaian

Cara berpakaian akan mempengaruhi pencapaian kenyamanan termal. Manusia dapat memilih dan menentukan jenis pakaian yang dikenakan untuk mencapai kenyamanan termal bagi dirinya (Frick et al., 2008). Batas nyaman untuk pakaian adalah 0,5 Clo, dimana nilai Clo total dapat dihitung dengan menjumlahkan Clo tiap jenis pakaian yang digunakan.

Tabel 2. Nilai clo dari jenis pakaian yang dipakai pengguna di gereja

No	Jenis pakaian	Clo
1	Celana Panjang tipis, kaos, sepatu	0,25
2	Celana Panjang tebal, kaos, sepatu	0,34
3	Celana Panjang, kemeja lengan pendek, sepatu	0,59
4	Celana Panjang, kemeja lengan Panjang, sepatu	0,63

(Sumber: ASHRAE, 2012)

e. **Metabolisme**

Saat tubuh melakukan aktivitas maka akan menimbulkan energi atau panas dalam tubuh. Makin tinggi aktivitas metabolisme seseorang, maka makin tinggi panas yang dihasilkan. Agar kenyamanan termal dapat dirasakan maka manusia dapat melakukan aktivitas yang lebih tenang. Terdapat beberapa aktivitas dan atasan nyaman untuk tingkat metabolisme dalam aktivitas ibadah di dalam gereja (AINSWORTH et al., 2000).

Tabel 3. Nilai METs/Jam dari aktivitas metabolisme saat ibadah di gereja

No	Kegiatan	Metabolisme (METs/jam)
1	Duduk beribadah tenang	1,0
2	Berdoa, sujud	1,0
3	Berdiri, mengikuti ibadah	1,2
4	Duduk, menyanyi, aktif beribadah	1,5
5	Berdiri, berbicara	1,8
6	Berdiri, menyanyi, aktif beribadah	2,0

(Sumber: Ainsworth, 2000)

Keseimbangan Termal dan Kenyamanan

Temperatur merupakan indikator dominan yang digunakan untuk kenyamanan termal. Meskipun demikian, temperature udara harus selalu dipertimbangkan bersama faktor-faktor lainnya untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal agar tercapai keseimbangan termal dalam tubuh manusia dan lingkungannya. Metode untuk mendapatkan kenyamanan termal adalah dengan cara memuaskan sebagian besar orang dalam kelompok. Prinsip ini menjadi dasar prediksi pendapat rata-rata / *Predicted Mean Vote* (PMV) dari indeks kenyamanan termal PO Fanger (Idham, 2016). Prediksi pendapat rata-rata tersebut diberi rating pada skala dari -3 hingga +3. Sangat dingin / *cold* (-3), dingin / *cool* (-2), agak dingin / *slightly cool* (-1), netral (0), sedikit hangat / *slightly warm* (+1), hangat / *warm* (+2), dan panas / *hot* (+3).

Tingkat kenyamanan termal ini bervariasi tergantung lokasi dan manusianya. ISO 7730 menyatakan bahwa suhu antara 18⁰C hingga 28⁰C dengan aktivitas sedang dan konsisten serta memperhitungkan pakaian dan pergerakan udara termasuk dalam kategori nyaman dengan PMV dari -0,5 ke +0,5. Sementara dalam penelitian di GKJ Joglo oleh Karyono menemukan untuk suhu antara 23,5⁰C hingga 29⁰C dalam ruang di Indonesia memiliki tingkat kenyamanan aktual dalam rentang skala -1 dan +1 (Ketaren & Karyono, 2016).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

GKJ Salatiga terletak di Jl. Diponegoro No.55 Kecamatan Sidorejo, Salatiga. GKJ Salatiga dibangun tahun 1969 dengan bentuk desain yang unik, berupa bangunan kembar yang terinspirasi dari Tabut Perjanjian. Denah berbentuk segi enam dengan bentuk atap lipat. Pada masing-masing sisi terdapat ventilasi yang terletak di bagian atas dinding berupa jendela engsel atas dengan ukuran 1 x 0,8 m berjumlah 2 buah di tiap sisi. Terdapat vegetasi berupa taman dan pohon besar di depan dan belakang bangunan gereja. Fasad bangunan menghadap Timur laut, pada bagian ini dimanfaatkan sebagai area parkir mobil, dengan vegetasi rindang. Bagian barat laut berupa lahan kosong yang dimanfaatkan sebagai parkir sepeda motor, dengan sedikit vegetasi. Sedangkan bagian belakang terdapat ruang sekolah minggu. GKJ Salatiga memiliki 4 ruang ibadah. Ruang ibadah 1, 2, dan 3 terletak di massa bangunan lama. Sedangkan ruang ibadah 4 merupakan bangunan baru yang terletak di sisi barat daya.



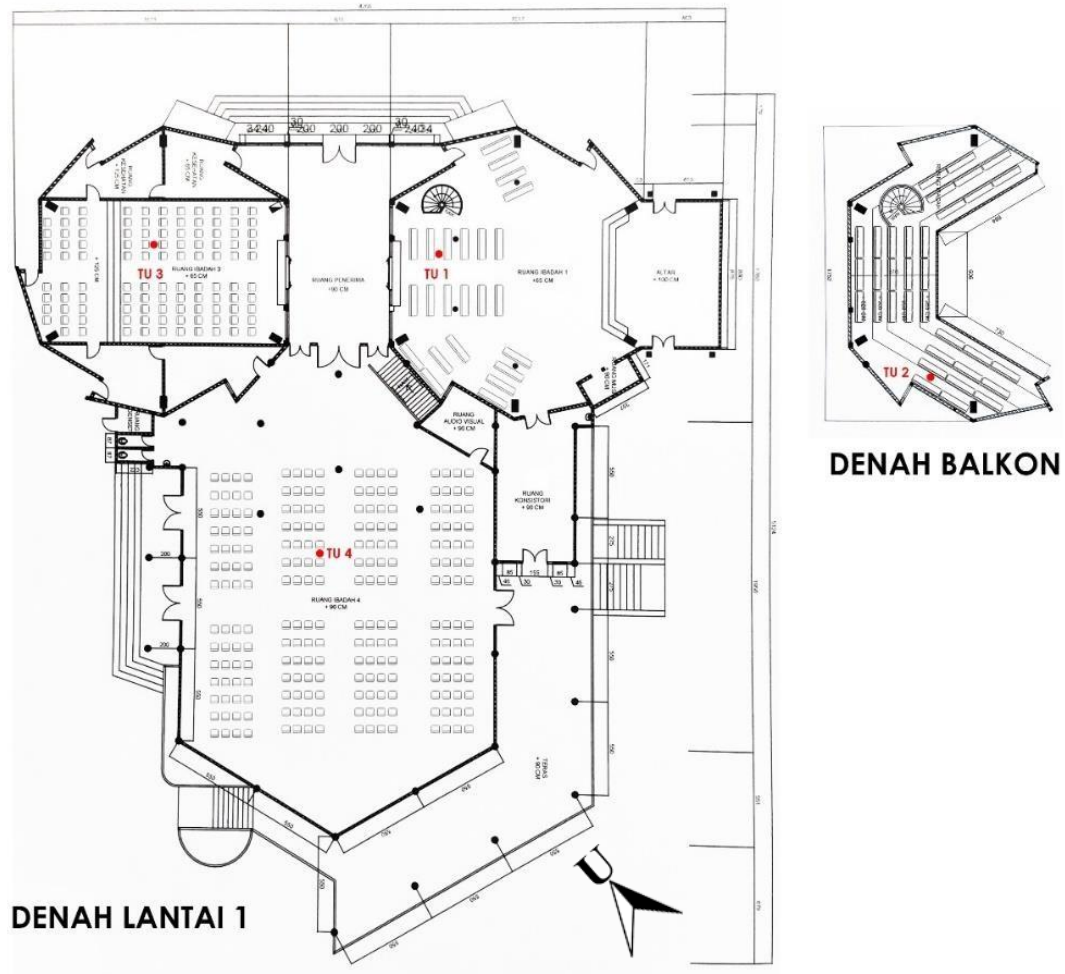
Gambar 1. Lokasi site GKJ Salatiga (Sumber: google earth, 2022)

Pengukuran

Tahap pertama adalah pengukuran bangunan dan kondisi termal, meliputi pengukuran temperatur, kelembaban, dan pergerakan udara. Pengukuran tersebut dilakukan di bangunan pada saat pelaksanaan ibadah di bulan Juni dengan kondisi langit cerah. Pengukuran dilakukan pada saat pelaksanaan ibadah, pertama saat ibadah pagi pukul 07.00 WIB, kedua saat ibadah siang pukul 1.:00, dan ketiga saat ibadah sore pukul 17.00 WIB, dimana di setiap sesi ibadah dilakukan pengukuran 2 kali. Pengukuran dilakukan pada 4 titik ukur seperti pada Gambar 4, dengan posisi ketinggian alat ukur diletakkan 110 cm dari lantai. Ketinggian tersebut berdasarkan aktivitas yang sering dilakukan jemaat saat beribadah, yaitu duduk mendengarkan kotbah maupun berdiri untuk pengakuan iman rasuli atau saat menerima berkat. Pada setiap ruang ibadah dipilih satu titik ukur karena tidak ada perbedaan suhu dan kelembaban yang signifikan antara kursi jemaat pada masing-masing ruang ibadah. Alat ukur yang digunakan adalah Anemometer Benetech GT8907 untuk mengukur temperature ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%) dan pergerakan udara (m/s).



Gambar 2. Anemometer Benetech GT8907 (Sumber: dokumentasi penulis, 2022)



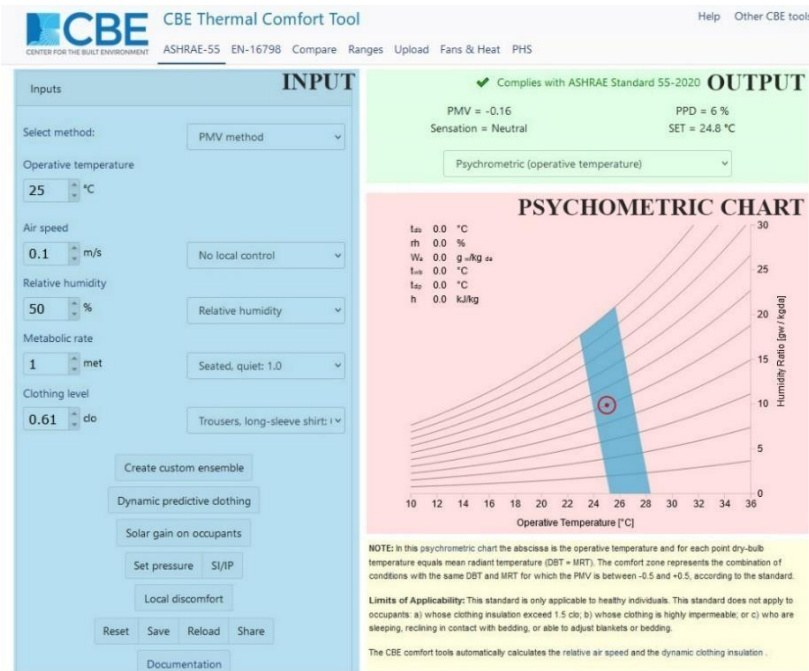
Gambar 3. Denah Titik Ukur (Sumber: dokumentasi penulis, 2022)

Analisa Perhitungan

Untuk mendapatkan data kenyamanan termal pada obyek penelitian di Gereja Kristen Jawa Salatiga digunakan metode PMV (*Predicted Mean Vote*) dalam CBE (*Center for the Build Environment*). Data kondisi termal yang diukur meliputi temperature, kelembaban dan pergerakan udara pada. Selain itu data kondisi bangunan, juga melakukan pengamatan terhadap aktivitas dan jenis pakaian yang digunakan oleh jemaat gereja.

Setelah data kondisi termal terkumpul, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan kenyamanan termal menggunakan software perhitungan kenyamanan termal *CBE Thermal Comfort Tool*. Program ini dapat diakses secara gratis dengan *user interface* yang mudah digunakan oleh pengguna. (Mamesa & Purwanto, 2022). Penggunaan program *CBE Thermal Comfort Tool* juga dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Mamesa di Gereja Katolik Gedangan Semarang tahun 2022. Pengguna memasukkan data tentang temperatur, kelembaban, pergerakan udara, aktivitas jemaat (MET), dan menentukan jenis pakaian (clo) yang digunakan. Adapun jenis pakaian yang digunakan oleh jemaat beragam, yakni menggunakan rok/celana panjang dan kaos (0,34 clo), rok/celana panjang dan kemeja lengan pendek (0,59 clo), serta rok/celana panjang dan kemeja lengan panjang (0,63 clo).

Data tersebut diinput dan dihitung secara online di *CBE Thermal Comfort Tool* sesuai standar yang dipilih, kemudian didapatkan hasil berupa PMV, Sensation, PPD dan SET serta dilengkapi psychometric chart. Hasil pengukuran tersebut akan menunjukkan bagaimana kondisi termal ruang yang diukur apakah telah sesuai standar yang ditetapkan.



Gambar 4 User interface CBE (Center for the Build Environment) (Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>)

4. ANALISA PEMBAHASAN









Kondisi GKJ Salatiga

GKJ Salatiga terletak di Salatiga yang beriklim sejuk, dengan sistem penghawaan alami dari ventilasi dan penghawaan mekasis dari kipas angin. Pada tahun 2006, dilaksanakan pembangunan gedung gereja sebagai upaya untuk menambah kapasitas gereja yang sudah tidak bisa ditampung di bangunan lama. Namun pengembangan bangunan yang mengambil inspirasi bentuk bangunan lama menutup ventilasi silang pada bangunan lama, mengakibatkan tingkat kenyamanan termal di bangunan lama menurun. Selain di bangunan lama, ketidaknyamanan termal juga terjadi di bangunan baru karena pemilihan material atap galvanum (Tabel 1) di bangunan baru yang mengakibatkan temperature di bangunan baru tinggi saat atap mulai terpapar sinar matahari di siang hingga sore hari.



Gambar 5. Kondisi bangunan GKJ Salatiga (Sumber dokumen pembangunan gereja 2006 & dokumentasi penulis 2022)

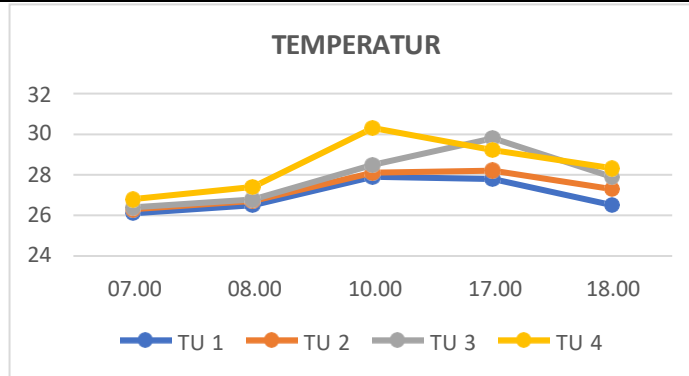
Tabel 4. Analisis ruang dalam

Nama Ruang	Atap	Plafon	Ventilasi
Ruang Ibadah 1 (Lt 1) (±242,3m ²)	Genteng dengan plafon triplek 	Triplek dicat putih	Jendela, pintu dan kipas angin 
Ruang Ibadah 2 (Balkon Lt 2) (±99,07m ²)	Genteng dan plafon triplek 	Triplek dicat putih	Jendela, kipas, exhaust fan 
Ruang Ibadah 3 (±142,4m ²)	Genteng dan plafon triplek 	Triplek dicat putih	Exhaust, kipas angin 
Ruang Ibadah 4 (Luas ±314,5m ²)	Atap galvalum 	Tanpa plafon	Ventilasi atas 

(Sumber: analisa penulis, 2022)

Analisa Temperatur

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa temperatur mengalami kenaikan dari pagi ke siang dan kembali menurun saat sore hari setelah pukul 17.00 di masing-masing titik ukur. Pada pukul 07.00 WIB suhu terendah adalah 26°C di titik ukur 1, sedangkan suhu tertinggi 26,8°C di titik ukur 4. Suhu terlihat naik pada pukul 10.00 WIB disebabkan oleh adanya matahari yang mulai naik hingga pukul 17.00 WIB.

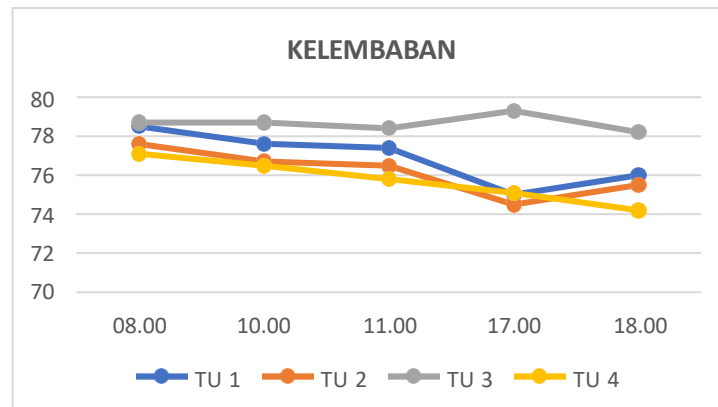


Gambar 6. Perbandingan temperatur pada 4 titik ukur (Sumber: Analisa penulis, 2023)

Di sore hari walaupun matahari sudah tenggelam temperature dalam ruang masih tinggi, bahkan di Titik Ukur 3 mencapai 28,8°C, lebih tinggi dibanding pengukuran saat ibadah pagi maupun siang, hal ini dikarenakan jeda waktu pelepasan panas yang ada di dalam bangunan yang membuat ruangan tetap panas. Selain itu kenaikan tertinggi ditemukan pada titik ukur 3 dan 4 hingga sore hari juga dipengaruhi letak titik ukur tersebut di sisi barat, yang terpapar sinar matahari siang hingga sore.

Analisa Kelembaban

Kelembaban pada pukul 07.00 WIB di semua titik ukur mencapai kisaran 77,6%-79,2%. Menurut S.V Szokolay batas toleransi kelembaban adalah 77% (Idham, 2016). Sehingga saat pagi kelembaban udara dalam ruang ibadah melebihi batas. Saat siang, kelembaban tidak mengalami perubahan signifikan dibandingkan saat pelaksanaan ibadah pagi.



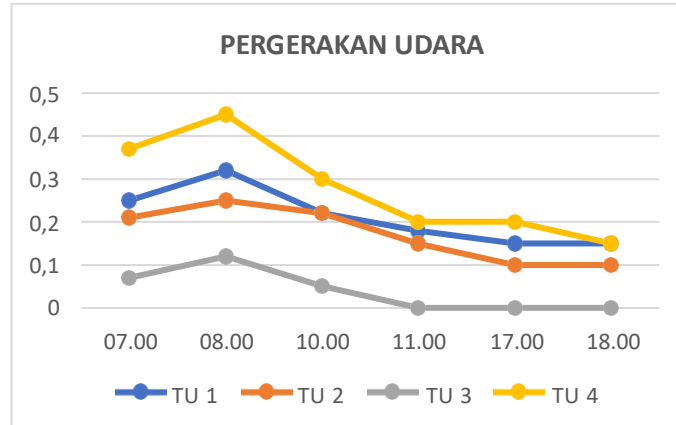
Gambar 7. Perbandingan kelembaban pada 4 titik ukur (Sumber: Analisa penulis, 2023)

Pada ibadah sore pukul 18.00 WIB, kelembaban di titik ukur 1, 2 dan 4 berada di bawah batas toleransi yaitu berkisar 74,5% - 75,1%. Sedangkan pada titik ukur 3 justru meningkat adalah 79,3 %, kondisi ini sudah melampaui batas toleransi kelembaban yang dianjurkan. Kenaikan kelembaban ini terjadi karena jumlah jemaat di ruang ibadah 3 yang banyak. Temperatur udara tinggi mengakibatkan lebih banyak jemaat yang berkeringat di sore hari sehingga berdampak pada kandungan uap di ruangan meningkat.

Analisa Pergerakan Udara

Pergerakan udara yang terjadi bervariasi di tiap titik ukur dipengaruhi bagaimana ventilasi di tiap ruang / titik ukur. Namun secara umum pergerakan udara bergerak lebih kencang di pagi hari dibandingkan sore pada semua ruang. Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa

pergerakan udara paling tinggi terjadi di kisar dan waktu 08.00 pagi dan mengalami penurunan di siang dan sore hari. Kecepatan udara tertinggi terjadi di TU 4 karena banyak bukaan baik di dinding maupun di dekat atap. Kecepatan udara terendah terjadi di titik ukur 3 karena tidak adanya ventilasi yang berhadapan langsung dengan dinding luar.



Gambar 8. Perbandingan pergerakan udara pada 4 titik ukur (Sumber: Analisa penulis, 2023)

Analisa Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dihitung dengan cara memprediksi pendapat rata-rata jemaat menggunakan model PMV (*Predicted Mean Vote*), dengan memasukan variable berupa faktor lingkungan (temperatur, kelembaban, pergerakan udara) dan faktor manusia (metabolism dan jenis pakaian) pada program *Center for the Built Environment*. Aktivitas metabolisme dilihat berdasarkan aktivitas metabolisme jemaat yaitu kegiatan duduk dan berdiri mengikuti ibadah dengan nilai metabolisme rate 1,2 met. Sedangkan jenis pakaian jemaat rata-rata menggunakan atasan pakaian lengan pendek dan bawahan rok atau celana panjang dengan nilai clothing level 0,57 clo.

Dilihat dari tabel perbandingan data lapangan didapatkan hasil evaluasi PMV mengenai kenyamanan termal dengan melihat skala ASHRAE yang terdapat pada CBE (*Center for the Built Environment*), yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Perhitungan PMV Menggunakan CBE (Center for the Build Environtment)

JAM 07:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	26,1	78,8	0,25	0,24	Neutral
TU 2	26,3	77,6	0,21	0,37	Neutral
TU 3	26,4	79,2	0,05	0,83	Slightly Warm
TU 4	26,8	78,2	0,37	0,27	Neutral

JAM 08:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	26,5	78,5	0,32	0,25	Neutral
TU 2	26,7	77,6	0,25	0,41	Neutral
TU 3	26,8	78,7	0,12	0,77	Slightly Warm
TU 4	27,4	77,1	0,45	0,35	Neutral

JAM 10:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	27,9	77,6	0,22	0,83	Slightly Warm
TU 2	28,1	76,7	0,22	0,88	Slightly Warm
TU 3	28,5	78,7	0,05	1,47	Slightly Warm
TU 4	30,3	76,5	0,25	1,51	Warm

JAM 11:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	28,2	77,4	0,18	1,01	Slightly Warm
TU 2	28,5	76,5	0,15	1,17	Slightly Warm
TU 3	28,8	78,4	0	1,62	Warm
TU 4	30,6	75,8	0,2	1,7	Warm

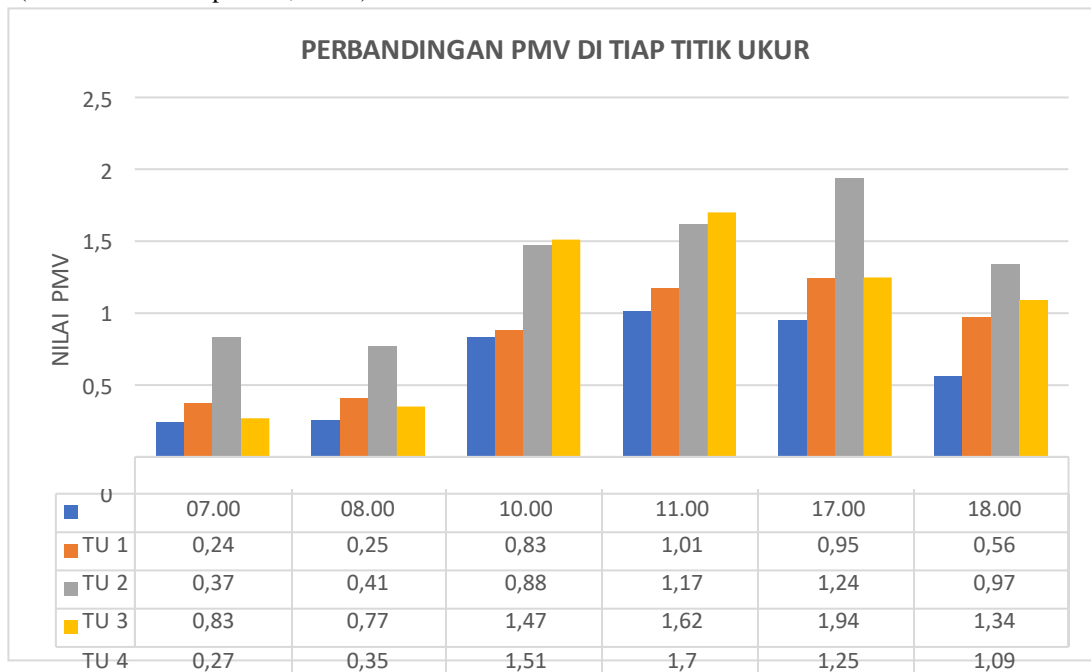
JAM 17:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	27,8	75	0,15	0,95	Slightly Warm
TU 2	28,2	74,5	0,1	1,24	Slightly Warm
TU 3	29,8	79,3	0	1,94	Warm
TU 4	29,2	75,1	0,2	1,25	Slightly Warm

JAM 18:00 WIB

Titik Ukur	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)	PMV	Sensasi Termal
TU 1	26,5	76	0,15	0,56	Slightly Warm
TU 2	27,3	75,5	0,1	0,97	Slightly Warm
TU 3	27,9	78,2	0	1,34	Slightly Warm
TU 4	28,3	74,2	0,15	1,09	Slightly Warm

(Sumber: Analisa penulis, 2023)



Gambar 9 Nilai PMV dengan CBE (Center for the Build Environment) (Sumber: Analisa penulis, 2023)

Gambar 9 menunjukkan perbandingan PMV disetiap waktu pengukuran. Pada ibadah pagi pukul 07:00 di titik ukur 1, 2 dan 4 menunjukkan sensasi *neutral*, dengan nilai PMV berturut-turut 0,24, 0,37 dan 0,27. Namun di ruang Titik ukur 3 menunjukkan skala sensasi *slightly warm*. Hal ini terjadi karena kelembaban udara yang tinggi dan kurangnya pergerakan udara.

Pada ibadah pukul 10.00 WIB, di titik ukur 1, 2, dan 3 menunjukkan skala sensasi *slightly warm* karena temperature yang meningkat. Temperatur di titik ini menunjukkan kisaran 27,0 °C – 28,5 °C. Kenaikan nilai PMV paling tinggi terjadi di titik ukur 4, dari 0,35 menjadi 1,51, kenaikan ini diakibatkan karena meningkatnya temperature. Dengan demikian titik ukur 4 menjadi satu-satunya ruang yang memiliki sensasi termal *warm* pada ibadah siang jam 10.00 WIB.

Saat pelaksanaan ibadah sore pukul 17.00 WIB, nilai PMV tertinggi pada titik ukur 3 mencapai 1,94 dengan sensasi termal *warm*. Kenaikan PMV di titik ukur 3 diakibatkan karena naiknya temperature dan kelembaban secara bersamaan di ibadah sore hari.

Hasil penelitian kenyamanan Termal menggunakan metode PMV dengan program CBE di GKJ Salatiga memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mamesa di Gereja Katolik Gedangan Semarang, dimana terdapat kenaikan temperatur ruang dari ibadah pagi, siang dan sore yang mempengaruhi kenyamanan termal. Namun perbedaan lokasi antara gereja di Salatiga dan Semarang juga menunjukkan perbedaan temperatur ruang di pagi hari. Jika pada ibadah pagi hari, nilai PMV di GKJ Salatiga menunjukkan sensasi *neutral* namun di Gereja Gedangan Semarang di pagi hari sudah menunjukkan sensasi *slightly warm*.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian kenyamanan termal GKJ Salatiga menggunakan program CBE disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada ruang ibadah GKJ Salatiga hanya tercapai pada ibadah pagi Jam 07.00 – 08.00 WIB. Pada titik ukur 1, 2 dan 4 nilai PMV mencapai standar $-0,5 < PMV < +0,5$ dengan sensasi termal *neutral*. Namun pada waktu ibadah siang dan sore nilai PMV diperoleh hasil 0,56 – 1,97, melebihi batas standar yang ada seluruh ruang dengan sensasi termal *slightly warm* hingga *warm*. Kenaikan nilai PMV terjadi karena faktor paparan radiasi matahari yang menaikkan temperature udara dalam ruang serta kurangnya pergerakan udara.

Sebagai upaya menurunkan PMV hingga mencapai standar dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama adalah menambah pergerakan udara, seperti di titik ukur 3, dengan memberi bukaan ventilasi atau peralatan mekanis seperti penambahan kipas angin, sehingga akan terjadi pergerakan udara. Kedua adalah dengan mengurangi radiasi matahari dari atap pada titik ukur 4. Caranya dengan memberi plafon sehingga mengurangi perambatan panas dari atap galvalum merambat masuk ke ruangan di bawahnya. Metode dan hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dengan membandingkan temperatur udara luar ruang pada permukaan dinding dan atap.

6. SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, maka metode dan hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dengan menambahkan variabel lain seperti membandingkan temperatur udara luar ruang pada permukaan dinding dan atap.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih pada seluruh majelis dan jemaat Gereja Kristen Jawa (GKJ) Salatiga atas izin penelitian yang telah diberikan. Terima kasih pula atas informasi dan bantuan yang telah diberikan selama melakukan pengukuran, analisis data hingga penelitian kenyamanan termal di GKJ Salatiga ini selesai dilaksanakan.

8. DAFTAR PUSTKA

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, D. R., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R., & Leon, A. S. (2000). Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(Supplement), S498–S516. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>
- ASHRAE Standard 55-2012. (n.d.). Retrieved June 30, 2022, from https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_55_2020
- Climate and Average Weather Year Round in Salatiga. (n.d.). Retrieved June 30, 2022, from <https://weatherspark.com/y/121508/Average-Weather-in-Salatiga-Indonesia-Year-Round>
- Dewandaru, A., Budi, W. S., & Hardiman, G. (2019). Pengaruh Desain Penghawaan terhadap Kondisi Termal di Gereja Santo Petrus Sambiroto Semarang. *ARSITEKTURA*, 17(2), 231. <https://doi.org/10.20961/arst.v17i2.30676>
- Frick, H., Ardiyanto, A., & Darmawan, A. (2008). *Ilmu Fisika Bangunan*. Kanisius.
- Idham, N. (2016). *Arsitektur dan Kenyamanan Termal*. ANDI.
- Ketaren, J. M., & Karyono, T. H. (2016). Evaluasi Kenyamanan Termal Bangunan Gereja Kristen Jawa (GKJ) Joglo, Jakarta Barat. *VITRUVIAN, Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*, Vol 5 No 2, 59. https://www.academia.edu/32110033/EVALUASI_KENYAMANAN_TERMAL_BANGUNAN_GEREJA
- Lestari, D. S. S. (2011). Kondisi Kenyamanan Thermal Bangunan Gereja Blenduk Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, Vol. 10 No. 14. <http://ejournal.utp.ac.id/index.php/JTSA/article/view/226>
- Mamesa, C., & Purwanto, L. (2022). Eksplorasi Software CBE Thermal Comfort Tool Sebagai Perhitungan Kenyamanan Termal. *JoDA Journal of Digital Architecture*, 1(2). <https://doi.org/10.24167/joda.v1i2.4305>
- Sekatia, A. (2015). Efektivitas Ventilasi Bawah Terhadap Kenyamanan Dan Pmv (Predicted Mean Vote) Pada Gereja Katedral, Semarang. *Agora: Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Arsitektur Usakti*, 15(2). <https://doi.org/10.25105/agora.v15i2.2026>
- SNI 03-6572-2001. (2001). *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung*. Puslitbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Taqwim S, M. A., Hardiman, G., & Budi, W. S. (2020). Kondisi Thermal Masjid Al-Fairus Pekalongan. *ARSITEKTURA*, 18(1), 27. <https://doi.org/10.20961/arst.v18i1.31418>
- Webb, M. (2015). *Building Energy and CFD Simulation To Verify Thermal Comfort in Under Floor Air Distribution (UFAD) Design* (R. Crawford & A. Stephan, Eds.; pp. 487–496). The Architectural Science Association and The University of Melbourn. https://anzasca.net/wp-content/uploads/2015/12/047_Webb_ASA2015.pdf