

MODEL KENYAMANAN TERMAL DENGAN MENGGUNAKAN STRUCTURAL EQUATION MODELING (SEM) PADA PONDOK PESANTREN DI WONOSOBO

Article History:

First draft received:
8 Juli 2022

Revised:
30 Agustus 2022

Accepted:
24 September 2022

First online:
7 Oktober 2022

Final proof received:
Print:
7 Oktober 2022

Online
7 Oktober 2022

Jurnal Arsitektur ZONASI
is indexed and listed in
several databases:

SINTA 4 (Arjuna)
GARUDA (Garda Rujukan Digital)
Google Scholar
Dimensions
oneSearch
BASE

Member:

Crossref
RJI
APTARI
FJA (Forum Jurna Arsitektur)
IAI
AJPKM

Adinda Septi Hendriani^{1*}
Hidayatus Sibyan²
Hermawan³

^{1,2,3} Universitas Sains Al-Qur'an, Jl. Hasyim Asy'ari Km.03, Wonosobo, Indonesia

Email: ¹adinda@unsiq.ac.id
²hsibyan@unsiq.ac.id.
³hermawanarsit@gmail.com

Abstract: *The thermal comfort model still needs to be developed in order to find a thermal comfort model that is applicable to all regions. The problem of different thermal variables and human culture in different areas makes the thermal comfort model still needs to be researched. The use of different analytical methods will also make differences in the thermal comfort models found. Cold areas and differences in activity in a building become interesting for research. The purpose of the study was to analyze the thermal comfort in Islamic boarding schools in cold areas using the Structural Equation Modeling (SEM) method. The research uses quantitative methods by measuring thermal and personal variables, namely air temperature, globe temperature, air humidity, wind speed, human activities, and human clothing. Data analysis using graphs and using AMOS software to find the prediction model. The results showed that the wind speed in the room tends to be constant and the flow does not feel so it has a zero value. In the SEM analysis, the wind variable cannot be entered because an error result will be obtained. The model is made without wind variables so as to produce a mathematical equation: $TSV = -0.418 \text{clothes} + 2.796 \text{activity} - 0.47 \text{air temperature} - 0.539 \text{mrt} + 0.178 \text{air humidity} + 0.686$.*

Keywords: *thermal comfort model, SEM analysis, Islamic boarding school*

Abstrak: Model kenyamanan termal masih perlu dikembangkan agar ditemukan model kenyamanan termal yang berlaku untuk semua wilayah. Permasalahan variabel termal yang berbeda-beda dan budaya manusia di suatu wilayah yang berbeda pula membuat model kenyamanan termal masih perlu diteliti. Penggunaan metode analisis yang berbeda juga akan membuat perbedaan model kenyamanan termal yang ditemukan. Wilayah dingin dan perbedaan aktivitas pada suatu bangunan menjadi menarik untuk dijadikan penelitian. Tujuan penelitian adalah menganalisa kenyamanan termal di pondok pesantren di daerah dingin dengan menggunakan metode Structural Equation Modelling (SEM). Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan pengukuran variabel termal dan personal yaitu suhu udara, suhu globe, kelembaban udara, kecepatan angin, aktivitas manusia dan pakaian manusia. Analisa data menggunakan grafik dan menggunakan software AMOS untuk menemukan model prediksinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin di dalam ruangan cenderung tetap dan tidak terasa alirannya sehingga mempunyai nilai nol. Pada analisa dengan SEM, variabel angin tidak bisa dimasukkan karena akan didapat hasil error. Model dibuat tanpa variabel angin sehingga menghasilkan persamaan matematis : $TSV = -0,418 \text{pakaian} + 2,796 \text{aktivitas} - 0,47 \text{suhu_udara} - 0,539 \text{mrt} + 0,178 \text{kelembaban_udara} + 0,686$.

Kata Kunci: model kenyamanan termal, analisa SEM, pondok pesantren,

1. Pendahuluan

Kenyamanan termal di dalam bangunan menjadi satu hal yang penting untuk dicapai agar penghuni bangunan bisa beraktivitas dengan baik. Bangunan sebagai wadah aktivitas manusia akan berperan dengan baik pada saat manusia yang tinggal di dalamnya bisa melakukan aktivitas dengan nyaman. Selain kenyamanan termal ada kenyamanan visual ataupun akustik. Namun, kenyamanan termal menjadi kenyamanan yang penting diteliti karena kenyamanan termal selalu ada di lingkungan manapun. Kenyamanan termal yang berkembang saat ini adalah kenyamanan yang berorientasi terhadap penghuni bangunan. Kenyamanan termal yang dikenal dengan kenyamanan termal adaptif tersebut merupakan pengetahuan yang masih terus dikembangkan karena belum bisa berlaku pada semua wilayah. Banyak penelitian kenyamanan termal adaptif yang telah dilakukan, namun berbagai jenis wilayah dan bangunan menjadikan kenyamanan termal adaptif masih perlu terus dilakukan. Perbedaan wilayah, bangunan dan karakteristik penghuni yang berbeda-beda menyebabkan perbedaan suhu nyaman yang ditemukan. Perumusan model yang bisa berlaku untuk semua wilayah, bangunan dan penghuni perlu didasarkan pada data yang lengkap.

Permasalahan yang timbul adalah kondisi wilayah, bangunan dan penghuni yang berbeda-beda membuat perbedaan hasil penelitian. Permasalahan energi juga menjadi alasan pentingnya kenyamanan termal selalu dilakukan dan dikembangkan. Penggunaan energi pada bangunan dalam mewujudkan kenyamanan termal penghuni cukup besar. Peningkatan suhu udara dengan adanya pemanasan global juga menjadikan penelitian kenyamanan termal penting untuk selalu dilakukan. Penggunaan pengkondisian udara dengan menggunakan Air Conditioning atau kipas angin memerlukan energi yang tidak sedikit. Penghuni yang banyak dalam bangunan menjadikan penggunaan pengkondisian udara menjadi besar. Salah satu bangunan yang mempunyai penghuni yang banyak adalah pondok pesantren. Penghuni pondok pesantren dikenal dengan nama santri. Jumlah penghuni pondok pesantren bervariasi namun pondok pesantren yang besar akan mempunyai santri yang besar pula.

Salah satu pondok pesantren di Kabupaten Wonosobo adalah pondok pesantren PPTQ Nawwir Quluubanaa. Jumlah santri sebanyak 250 santri perempuan. Karakteristik pakaian santri adalah penggunaan jilbab yang akan membuat karakteristik khusus untuk suhu nyamannya. Aktivitas mengaji juga menjadi aktivitas yang mempunyai karakteristik khusus. Penggunaan energi akan menjadi lebih besar dengan penggunaan pengkondisian udara seiring dengan bertambah panasnya lingkungan. Kabupaten Wonosobo yang sebelumnya mempunyai suhu udara dingin sepanjang hari menjadi berbeda. Saat siang hari bahkan pernah menjadi lebih dari 30°C. Karakteristik masyarakat Wonosobo yang biasanya beradaptasi dengan suhu udara dingin akan mengalami kepanasan dengan suhu udara yang tinggi. Permasalahan tersebut akan menyebabkan perubahan suhu nyaman pada penghuni bangunan.

Berbagai strategi dilakukan untuk melakukan penghematan energi pada bangunan. Perubahan iklim dan potensi pemanasan global menyebabkan bangunan memerlukan 35% dari penggunaan energi pada bangunan untuk mempertahankan kenyamanan penghuni. Strategi ventilasi mode campuran dianggap mampu mengoptimalkan penggunaan energi untuk menciptakan kenyamanan termal bangunan (Salcido et al., 2016). Strategi lainnya dilakukan dengan Personal Comfort System (PCS) dengan cara menargetkan pengkondisian pada ruang yang ditempati oleh pengguna. PCS merupakan sebuah sistem ventilasi yang masuk pada jenis HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) system. Potensi penghematan energi terjadi dengan adanya strategi PCS (Rawal et al., 2020). Strategi yang dilakukan untuk penghematan energi memerlukan dasar sebuah prediksi kenyamanan termal penghuni. Penelitian untuk menghasilkan model prediksi terus dilakukan. Model prediksi merupakan suatu model yang berbentuk persamaan matematis untuk memprediksi kenyamanan termal bangunan. Persamaan untuk memprediksi kenyamanan termal bangunan terus dikembangkan. Perubahan iklim membuat penelitian perlu selalu dilakukan sehingga didapatkan persamaan matematis yang sesuai dengan kondisi iklim saat ini. Saat ini berkembang teori kenyamanan termal adaptif yang membangun persamaan matematis berdasarkan persepsi penghuni. Model persamaan kenyamanan termal adaptif merupakan model yang berorientasi pada penghuni.

Hal ini sesuai dengan kondisi masyarakat yang sering mengalami ketidaknyamanan secara termal (Vakalis et al., 2019).

Kenyamanan termal bangunan saat ini dikaitkan dengan pemenuhan kualitas lingkungan dalam ruangan (IEQ) yang komprehensif. Pembentukan model IEQ bisa dilakukan dengan berbagai cara baik dengan simulasi ataupun dengan studi lapangan. Model penilaian dengan studi lapangan telah dilakukan di Hongkong dengan menggunakan survey terhadap 224 sampel. Selain variabel iklim (suhu udara, kelembaban udara), beberapa parameter lain ditambahkan seperti CO₂, tingkat pencahayaan dan tingkat kebisingan. Metode dihitung dengan menggunakan Analytic Hierarchy Process (AHP). Penggunaan model kualitas lingkungan akan meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang dan bisa memprediksi kualitas ruangan yang diusulkan (D. Yang & Mak, 2020). Penggunaan model persamaan matematis juga dilakukan untuk menguji parameter bangunan hijau baik kualitas lingkungan maupun kualitas udara di dalam ruang. Parameter kualitas dalam ruang yang digunakan meliputi kandungan partikel di dalam udara ataupun kandungan zat di dalam udara seperti CO₂ dan CO. Parameter termal seperti suhu udara dan kelembaban menjadi parameter yang selalu ikut serta dalam perumusan model prediksi kualitas udara (Wei et al., 2020).

Model prediksi dalam ruangan selalu dikaitkan dengan kenyamanan termal. Saat ini berkembang model prediksi yang ditautkan dengan faktor kesehatan karena kondisi covid-19 yang membuat manusia lebih banyak beraktivitas di dalam ruangan. Faktor-faktor iklim yang mempengaruhi kenyamanan termal selalu dimasukkan dalam variabel yang menjadi faktor dalam perumusan kualitas udara di dalam ruang (Ma et al., 2021). Kenyamanan termal di dalam bangunan bisa diteliti dengan menggunakan metode kuantitatif ataupun kualitatif. Kenyamanan termal bangunan erat terkait dengan arsitektur karena perancangan bangunan memerlukan prediksi kenyamanan termal yang harus dicapai oleh pengguna. Model prediksi kenyamanan termal adaptif menjadi salah satu poin dalam menciptakan perancangan bangunan yang ideal (Hermawan & Švajlenka, 2021). Kenyamanan termal penghuni bisa dilihat dengan skala sensasi termal penghuni. Penelitian di gedung perkantoran di Kanada menemukan sensasi termal penghuni di luar perhitungan biasa pada tahun 2056-2075. Perkiraan terhadap prediksi tersebut diperlukan agar perancangan bangunan bisa dikendalikan sehingga bisa tercipta kenyamanan termal dan penghematan energi (Sihombing, 2019; Bahari, 2020; Jafarpur & Berardi, 2021).

Penelitian yang berupa review artikel juga selalu dilakukan untuk menemukan parameter-parameter kualitas udara di dalam ruang. Kenyamanan termal merupakan faktor yang mempengaruhi produktifitas penghuni dalam ruangan. Saat penghuni tidak nyaman secara termal, maka aktivitas yang dilakukan akan terpengaruhi dan membuat penghuni tidak bisa menghasilkan aktivitas yang baik. Selain kenyamanan termal, variabel kenyamanan visual dan akustik juga diteliti agar tercapai kenyamanan ruang yang komprehensif. Namun, kenyamanan yang lebih utama agar produktifitas penghuni tidak terganggu adalah kenyamanan termal (Mujan et al., 2019). Faktor kesehatan juga bisa dilihat dari kondisi suhu udara dan kelembaban udara di dalam ruangan. Suhu udara yang terlalu dingin atau terlalu panas bisa menyebabkan penghuni mengalami gangguan kesehatan. Lingkungan yang terlalu dingin atau terlalu panas perlu disesuaikan agar mampu membuat penghuni beraktivitas dengan baik. Penelitian yang menggunakan suhu udara dan kelembaban masih menjadi penelitian yang penting dilakukan agar tercipta kenyamanan termal dalam bangunan. Penelitian tentang suhu udara dan kelembaban bisa dilakukan di daerah dingin ataupun daerah panas yang membuat ketidaknyamanan termal dalam bangunan (Daniel et al., 2019).

Salah satu output dari teori kenyamanan termal adaptif adalah produksi suhu kenyamanan penghuni. Suhu kenyamanan penghuni dipengaruhi oleh iklim mikro dan faktor pribadi tertentu terutama usia dan jenis kelamin. Iklim mikro dalam suatu ruangan suatu bangunan juga dipengaruhi oleh material dinding. Bahan yang berbeda akan menghasilkan suhu dalam ruangan yang berbeda. Penelitian kenyamanan termal akan menemukan suhu kenyamanan bagi penghuni dengan mempertimbangkan usia dan jenis kelamin mereka dalam empat periode musiman yang berbeda. Penelitian di rumah tinggal tradisional dilakukan pada dua tipe rumah dengan bahan dinding yang berbeda yaitu ekspos batu dan kayu. Variabel tersebut mencakup suhu udara dalam ruangan dan skala sensasi termal tujuh poin ASHRAE penghuni. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan

regresi linier sehingga menghasilkan persamaan matematis. Temperatur kenyamanan penghuni didapatkan dari perhitungan persamaan (Hermawan, dkk., 2018; Hermawan et al., 2020).

Prediksi kenyamanan termal terkait dengan kondisi personal penghuni bangunan. Pakaian dan aktivitas penghuni merupakan variabel yang akan menyebabkan perbedaan pencapaian kenyamanan termal dalam bangunan. Pondok pesantren termasuk salah satu bangunan dengan penghuni yang mempunyai karakteristik khusus. Penghuni pondok pesantren adalah para santri yang menggunakan pakaian sarung untuk laki-laki dan jilbab untuk perempuan. Penggunaan jilbab membuat penghuni lebih tertutup sehingga akan membuat perbedaan prediksi kenyamanan termal bangunan. Selain itu, aktivitas mengaji merupakan aktivitas yang mempunyai karakteristik khusus. Aktivitas mengaji termasuk dalam aktivitas duduk dan mengeluarkan suara secara bersama-sama. Aktivitas tersebut belum begitu banyak dibahas dalam penelitian kenyamanan termal. Pencapaian kenyamanan termal penghuni dengan ditemukannya suhu udara nyaman akan menambah pengetahuan bidang kenyamanan termal. Strategi dalam memperlakukan pondok pesantren sebagai bangunan yang hemat energi juga diperlukan agar tidak terjadi pemborosan energi dengan penggunaan alat pengkondisian udara. Penelitian persamaan matematis untuk memprediksi kenyamanan termal pondok pesantren santri putri yang berjilbab menjadi penelitian yang mempunyai kebaruan dalam bidang kenyamanan termal bangunan.

Tujuan penelitian adalah merumuskan persamaan matematis prediksi kenyamanan termal pondok pesantren yang akan memprediksi suhu nyaman penghuni pondok pesantren. Tujuan ini akan menjadi suatu model yang bisa memperkirakan suhu nyaman pada suatu bangunan dengan variabel iklim pada lingkungan tertentu.

2. Metode Penelitian

Tahapan Metode Penelitian dilakukan dengan perumusan variabel, pengukuran variabel di lapangan, rekapitulasi data yang didapat, analisa data dengan menggunakan Structural Equation Modeling (SEM), perumusan persamaan matematis prediksi kenyamanan termal dan penarikan kesimpulan. Variabel didapat dari review artikel hasil penelitian yang menunjukkan bahwa kenyamanan termal dipengaruhi oleh variabel dependen dan variabel independen. Variabel Independen yaitu variabel sensasi termal sedangkan variabel independennya yaitu variabel iklim dan personal. Variabel sensasi termal didapat dari pengisian kuesioner yang berupa 7 skala sensasi termal yaitu sangat panas (+3), panas (+2), hangat (+1), netral (0), sejuk (-1), dingin (-2), sangat dingin (-3). Variabel iklim yaitu suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan suhu radiasi matahari rata-rata. Variabel personal yaitu pakaian penghuni (clo) dan kegiatan penghuni (met). Pengukuran variabel di lapangan dilakukan selama 4 waktu yaitu pagi, siang, sore dan malam hari. Objek penelitian yang diambil adalah pondok pesantren PPTQ Nawwir Quluubanaa. Jumlah sampel yang akan diteliti sebanyak 200 santri.. Rekapitulasi data menggunakan ms excel yang akan diwujudkan dalam grafik dan analisa regresi dengan menggunakan Structural Equation Modeling (SEM). Penggunaan SEM dianggap lebih valid dibandingkan dengan penggunaan uji statistik yang lain. Perumusan matematis dirumuskan dengan menggunakan SEM sehingga bisa dilakukan penarikan kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa merupakan pondok pesantren dengan bangunan modern berlantai tiga. Lantai satu terdiri dari ruang tempat ibadah (mushola), teras depan, ruang tamu santri, ruang setoran hafalan Al-Qur'an, ruang tamu umum, ruang keluarga, kamar tidur, gudang, dapur kyai, ruang makan, teras belakang, kamar mandi/wc, kolam. Lantai dua terdiri dari dauroh tahfidz, ruang pengurus, ruang komputer, koperasi, dauroh hindun, kamar mandi/wc. Lantai tiga terdiri dari dauroh tahfidz, kamar mandi/wc. Lantai 1 masih diperuntukkan juga untuk tamu dari luar yang akan bertemu santri maupun kyai. Lantai dua lebih banyak fasilitas untuk santri dengan pengurus. Lantai dua mempunyai ruang untuk aktivitas koperasi dan pengurus. Lantai tiga diperuntukkan khusus bagi

aktivitas santri yang menimba ilmu untuk mempelajari kitab suci Al-Qur'an. Ruang Dauroh Tahfidz ada dua dan mempunyai besaran yang luas sehingga menampung banyak santri.

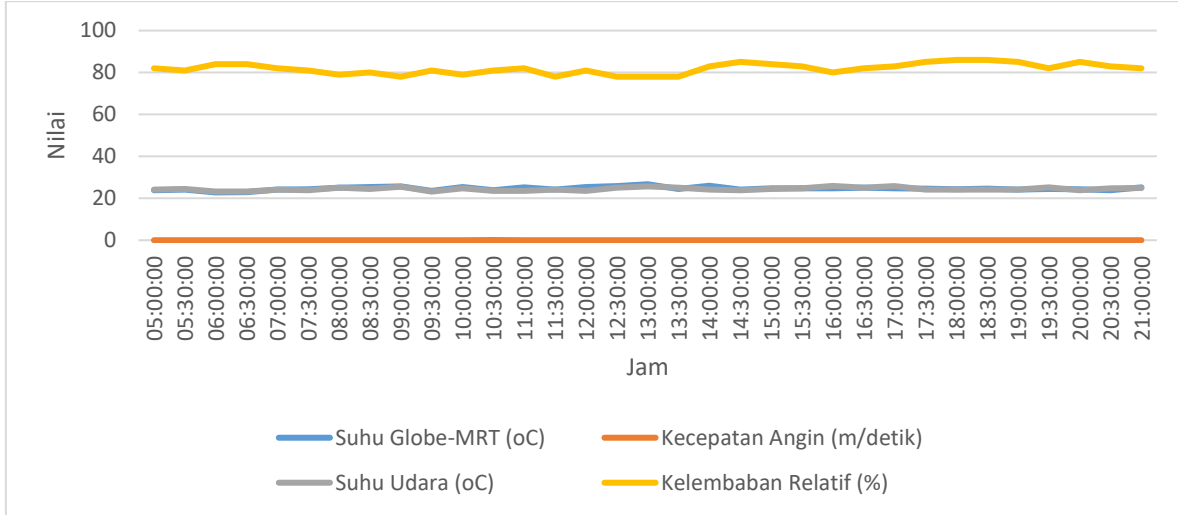
Santri di Pondok pesantren Nawwir Quluubanaa berjumlah 200 santri yang dikhususkan untuk santri perempuan. Pakaian santri perempuan adalah jilbab dengan menggunakan rok panjang serta kemeja lengan panjang. Aktivitas santri perempuan adalah belajar baik belajar di sekolah formal maupun belajar di pondok pesantren setelah pulang dari sekolah formal. Usia santri di Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa berkisar antara 18-25 tahun. Tinggi badan santri berkisar antara 140-177 cm dengan berat badan berkisar antara 38-75 kg. Pembelajaran formal santri sebagian besar sekolah lanjutan tingkat atas dan perguruan tinggi. Santri yang ada tergolong remaja yang menginjak dewasa. Kemandirian santri membuat aktivitas di dalam pondok pesantren tidak banyak bimbingan atau arahan terhadap aktivitas sehari-hari dalam rumah tangga.

Bangunan Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa menggunakan lantai keramik, dinding plaster dan atap seng. Ventilasi menggunakan jendela dengan beberapa bentuk seperti jendela yang bisa dibuka, glass box, bouven licht ataupun jendela kaca mati. Pencahayaan alami bisa masuk dengan leluasa ke dalam bangunan namun beberapa ruang perlu menggunakan pencahayaan buatan seperti ruang komputer yang terletak di tengah bangunan dan tidak mendapatkan cahaya alami dari luar ruangan. Adanya void sangat membantu dalam pencahayaan maupun penghawaan bangunan. Cahaya matahari dan angin bisa masuk ke dalam bangunan meskipun tidak bisa menjangkau semua ruang. Sebagian besar ruang telah memperoleh cahaya alami dan penghawaan alami dengan cukup baik.



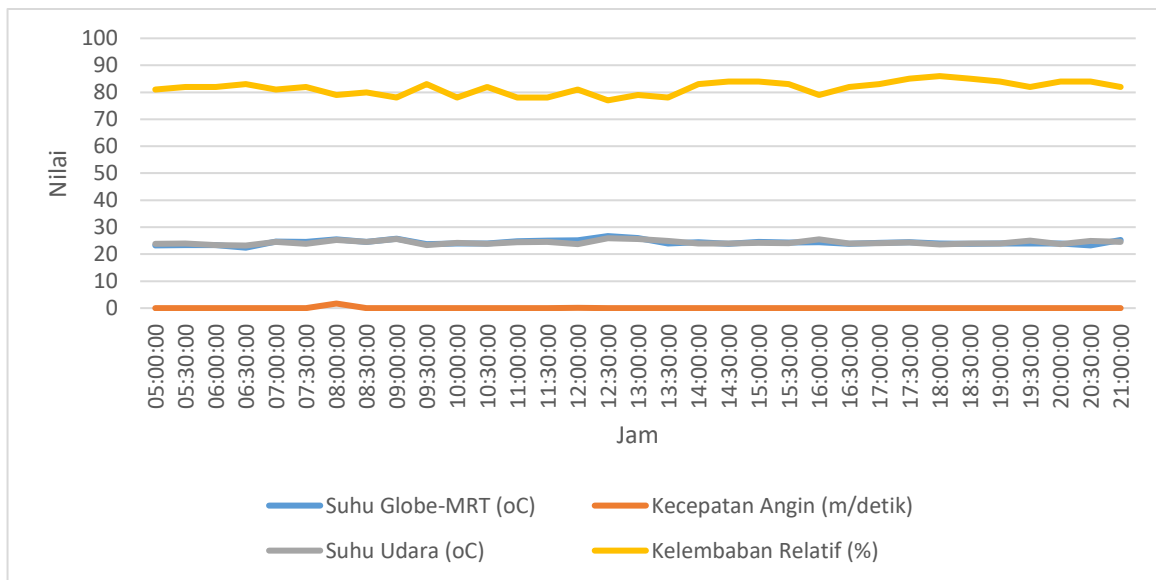
Gambar 1. Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa (Sumber : Peneliti)

Variabel termal yang meliputi suhu globe-MRT (*Mean Radiant Temperature*), Suhu udara, Kelembaban Relatif dan Kecepatan Angin terlihat tidak terlalu ekstrim perubahannya dari setengah jam pengukuran. Pada ruang dalam, Suhu globe-MRT berkisar antara 22,8-26,7°C dengan rata-rata sebesar 24,62°C. Suhu udara berkisar antara 23,2-25,9 °C dengan rata-rata sebesar 24,43 °C. Kelembaban relatif berkisar antara 78-86% dengan rata-rata sebesar 81,85%. Kecepatan angin tidak terlalu nampak alirannya dengan nilai maksimum sebesar 0,1 m/detik. Sebagian besar nilai angin menunjukkan angka nol. Nilai suhu udara dengan rata-rata tersebut tidak jauh berbeda dengan suhu udara nyaman di daerah pegunungan yang berkisar di nilai 24°C (Hermawan et al., 2019). Pondok pesantren Nawwir Quluubanaa terletak di Kabupaten Wonosobo Kecamatan Mojotengah yang masih mempunyai lokasi cukup tinggi sehingga suhu udara sebagian besar mempunyai nilai yang rendah.



Gambar 2. Grafik Variabel Termal Ruang Dalam

Ruang luar di sekitar Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa telah dipenuhi oleh bangunan. Kondisi termal pada lingkungan pondok tidak terlalu lapang. Variabel termal di ruang luar yang diukur setiap setengah jam menunjukkan fluktuasi yang tidak terlalu besar. Suhu globe-MRT (*Mean Radiant Temperature*) berkisar antara 22,4-26,7°C dengan rata-rata sebesar 24,31°C. Suhu udara berkisar antara 23,2-25,9°C dengan rata-rata sebesar 24,29°C. Kelembaban relatif berkisar antara 77-86% dengan rata-rata sebesar 81,58%. Kecepatan angin mempunyai maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan ruang dalam. Kecepatan angin minimum sebesar nol dan kecepatan angin maksimum sebesar 1,7 m/detik. Rata-rata kecepatan angin sebesar 0,05 m/detik. Variabel termal di luar ruangan tidak terlalu ekstrim sehingga terlihat masih bisa diterima oleh penghuni pondok pesantren sesuai dengan standar suhu nyaman di pegunungan.



Gambar 3. Grafik Variabel Termal Ruang Luar

Selisih nilai variabel termal antara ruang luar dan ruang dalam tidak terlalu besar. Lingkungan pondok pesantren yang cukup padat juga membuat sirkulasi angin yang masuk ke dalam bangunan juga tidak terlalu besar. Kondisi termal yang dingin di daerah pegunungan membuat suhu udara masih bisa diterima berdasarkan suhu nyaman yang ada. Selisih suhu globe antara ruang luar dan ruang dalam cenderung naik namun hanya sebesar 0,4°C. Selisih rata-rata tidak sampai 1°C yaitu sebesar 0,31°C yang menandakan suhu globe atau suhu radiasi matahari rata-rata antara ruang luar dan ruang dalam tidak terlalu jauh berbeda. Suhu udara ruang luar dan ruang dalam hampir tidak ada selisih.

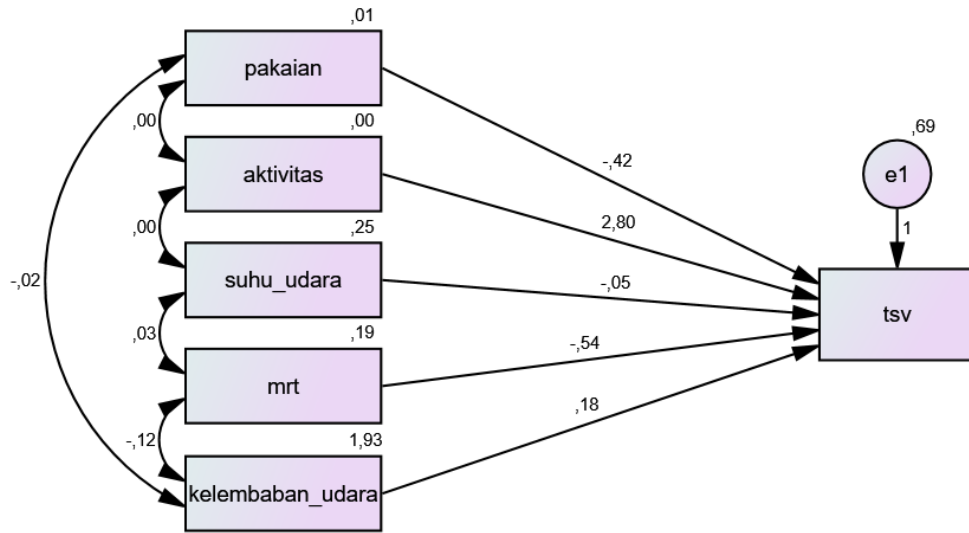
Secara rata-rata, nilai nya hanya bertambah sebesar 0,14°C. Nilai yang sangat kecil untuk dikatakan adanya perubahan. Nilai kelembaban relatif memperlihatkan selisih pada nilai minimumnya sebesar 1%, nilai rata-ratanya memperlihatkan selisih sebesar 0,27%. Selisih kelembaban relatif antara ruang luar dan dalam tidak terlalu besar juga. Nilai kecepatan angin di ruang dalam berkurang namun tidak terlalu jauh berkurangnya. Angin di dalam ruangan cenderung stagnan. Angin di luar ruangan tidak terlalu banyak karena rapatnya bangunan di sekitar pondok.

Tabel 1. Rekapitulasi Variabel Termal

| No | Variabel Termal | Nilai | Ruang Luar | Ruang Dalam | Selisih |
|----|-----------------|-----------|------------|-------------|---------|
| 1 | Suhu Globe | Minimum | 22,40 | 22,80 | 0,40 |
| | | Maksimum | 26,70 | 26,70 | 0,00 |
| | | Rata-rata | 24,31 | 24,62 | 0,31 |
| 2 | Suhu Udara | Minimum | 23,20 | 23,20 | 0,00 |
| | | Maksimum | 25,90 | 25,90 | 0,00 |
| | | Rata-rata | 24,29 | 24,43 | 0,14 |
| 3 | Kelembaban | Minimum | 77,00 | 78,00 | 1,00 |
| | | Maksimum | 86,00 | 86,00 | 0,00 |
| | | Rata-rata | 81,58 | 81,85 | 0,27 |
| 4 | Kecepatan Agin | Minimum | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Maksimum | 1,70 | 0,10 | -1,60 |
| | | Rata-rata | 0,05 | 0,00 | -0,05 |

Variabel termal digunakan untuk mendapatkan model kenyamanan termal dari penghuni bangunan. Model kenyamanan termal bisa dibentuk dengan menggunakan variabel suhu globe (MRT), suhu udara (Ta), kelembaban udara (RH), kecepatan udara (V), aktivitas manusia (met), pakaian (clo) dan sensasi termal (TSV-Thermal Sensation Vote). Santri pengguna Pondok Pesantren Nawwir Quluubanaa melakukan aktivitas yang sama yaitu mengaji yang bisa dikategorikan dengan mengobrol bagi manusia secara umum. Aktivitas mengaji dilakukan sambil duduk dan bisa diidentifikasi dengan nilai 1,1. Saat mengaji, semua santri menggunakan pakaian yang tidak terlalu jauh perbedaannya. Santri mengenakan pakaian kemeja lengan panjang, berjilbab dan rok panjang. Beberapa santri menambah pakaian dengan jaket yang tebal karena kondisi termal lingkungan yang disesuaikan dengan masing-masing kondisi badan santri.

Analisis dengan menggunakan Structural Equation Modelling (SEM) merupakan salah satu cara untuk memprediksi kenyamanan termal. Model persamaan structural (structural equation) membentuk model pengukuran variabel laten eksogen dan endogen yang digunakan untuk menyatakan hubungan kausalitas antar berbagai konstruk. Variabel yang ada dimasukkan dan diolah datanya dengan SEM. Pada saat pengolahan pertama, variabel kecepatan angin tidak dapat diolah. Kecepatan angin di dalam bangunan tidak terasa alirannya sehingga data yang dihasilkan adalah nol. Variabel tersebut tidak dapat diolah dengan menggunakan SEM sehingga variabel angin dihilangkan. Model yang didapat dianggap pada kondisi tidak ada angin karena hasil pengukuran kecepatan angin di dalam ruangan adalah nol. Maka model yang didapat adalah model yang digunakan untuk memprediksi kenyamanan termal pada pondok pesantren pada kondisi tidak ada kecepatan angin. Bentuk persamaannya adalah:



Gambar 4. Model SEM

$$TSV = \beta_1 \text{pakaian} + \beta_2 \text{aktivitas} + \beta_3 \text{suhu_udara} + \beta_4 \text{mrt} + \beta_5 \text{kelembaban_udara} + e_1$$

$$TSV = -0,418 \text{pakaian} + 2,796 \text{aktivitas} - 0,47 \text{suhu_udara} - 0,539 \text{mrt} + 0,178 \text{kelembaban_udara} + 0,686.$$

Model kenyamanan termal merupakan model yang masih perlu dikembangkan dengan pertimbangan bahwa terdapat perbedaan keunikan iklim masing-masing wilayah beserta dengan personal manusia di dalam lingkungan tersebut (B. Yang et al., 2022). Model yang dibangun saat musim dingin juga berbeda dengan musim lainnya. Hasil penelitian yang telah dilakukan di daerah dingin dengan manusia penghuni wilayahnya mempunyai kecenderungan beradaptasi dengan suhu dingin yang ada (Su et al., 2020). Penelitian kenyamanan termal di daerah dingin mempunyai signifikansi dalam bidang kesehatan karena sebagian besar manusia di daerah dingin menggunakan perapian untuk menghangatkan ruangan (Hermawan, Prijotomo & Dwisusanto, 2020). Budaya menghangatkan ruangan dengan perapian akan menimbulkan asap yang bisa menyebabkan penyakit pada manusia. Tradisi di pegunungan mempunyai nilai positif dan negatif. Penelitian lain menyebutkan bahwa budaya penggunaan perapian bisa menimbulkan kerukunan. Kekerbatan bisa ditimbulkan dengan adanya penggunaan perapian pada wilayah dingin (Dwisusanto & Hermawan, 2020). Penelitian pondok pesantren yang telah dilakukan tidak menggunakan perapian sebagai penghangatan. Pondok pesantren berbeda dengan rumah tinggal yang difungsikan untuk berkumpulnya masyarakat umum. Pondok pesantren mempunyai fungsi untuk mengaji sehingga perlakuan manusia di dalamnya juga mempunyai aktivitas yang berbeda dan menghasilkan model yang berbeda pula.

4. Kesimpulan

Model kenyamanan termal dengan menggunakan Structural Equation Modelling (SEM) memerlukan ketepatan data pengukuran. Penggunaan SEM dengan variabel yang tidak mempunyai nilai bervariasi dan mendapatkan nilai nol maka perlu dihilangkan sehingga data kecepatan angin di dalam ruangan dihilangkan. Model kenyamanan termal perlu didukung data akurat tentang variabel termal yang ada di dalam ruangan. Penggunaan model kenyamanan termal dengan SEM akan memberikan variasi analisa lainnya. Penggunaan analisis regresi dengan SPSS seringkali digunakan dalam kenyamanan termal. Perlu ada penelitian lebih lanjut untuk membandingkan SEM dengan analisa regresi dengan menggunakan SPSS.

5. Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas pemberian hibah Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak induk 158/E5/PG.02.00.PT/2022, nomor kontrak turunan 021/LL6/PB/AK.04/2022 dan A.1.01/PDP/LP3M-UNSIQ/2022.

6. Referensi

- Bahari, M. N. (2020). THERMAL COMFORT INVESTIGATION ON HOLY MOSQUE Case Study : Lautze 2 Mosque Bandung. *Journal of Architectural Research and Education*, 2(1), 82–89. <https://doi.org/10.17509/jare.v2i1.24105>
- Daniel, L., Baker, E., & Williamson, T. (2019). Cold housing in mild-climate countries: A study of indoor environmental quality and comfort preferences in homes, Adelaide, Australia. *Building and Environment*, 151(December 2018), 207–218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.037>
- Dwisusanto, Y. B., & Hermawan. (2020). The role and meaning of fireplace in Karangtengah Hamlet settlement, Banjarnegara: A study of the spatial pattern of pawon and kinship. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 5(3), 479–488. <https://doi.org/10.30822/arteks.v5i3.609>
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2018). Studi lapangan variabel iklim rumah vernakular pantai dan gunung dalam menciptakan kenyamanan termal adaptif. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 1(2), 96. <https://doi.org/10.17509/jaz.v1i2.12467>
- Hermawan, Prijotomo, J., & Dwisusanto, Y. B. (2020). The Geni tradition as the center of the shelter for Plateau Settlements. *Ecology, Environment and Conservation*, 26(1), 34–38.
- Hermawan, H., & Švajlenka, J. (2021). The connection between architectural elements and adaptive thermal comfort of tropical vernacular houses in mountain and beach locations. *Energies*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/en14217427>
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2020). The comfort temperature for exposed stone houses and wooden houses in mountainous areas. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(4), 571–582. [https://doi.org/10.6180/jase.202012_23\(4\).0001](https://doi.org/10.6180/jase.202012_23(4).0001)
- Hermawan, Prianto, E., Setyowati, E., & Sunaryo. (2019). The thermal condition and comfort temperature of traditional residential houses located in mountainous tropical areas: An adaptive field study approach. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(6), 1833–1840. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.6.3560>
- Jafarpur, P., & Berardi, U. (2021). Effects of climate changes on building energy demand and thermal comfort in Canadian office buildings adopting different temperature setpoints. *Journal of Building Engineering*, 42(102725).
- Ma, N., Aviv, D., Guo, H., & Braham, W. W. (2021). Measuring the right factors: A review of variables and models for thermal comfort and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(August 2020), 110436. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110436>
- Mujan, I., Anđelković, A. S., Munćan, V., Kljajić, M., & Ružić, D. (2019). Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 646–657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>
- Rawal, R., Schweiker, M., Kazanci, O. B., Vardhan, V., Jin, Q., & Duanmu, L. (2020). Personal comfort systems: A review on comfort, energy, and economics. *Energy and Buildings*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109858>
- Salcido, J. C., Raheem, A. A., & Issa, R. R. A. (2016). From simulation to monitoring: Evaluating the potential of mixed-mode ventilation (MMV) systems for integrating natural ventilation in office buildings through a comprehensive literature review. *Energy and Buildings*, 127, 1008–1018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.054>
- Sihombing, R. P. (2019). Climatological Aspects in the Circulation of Sustainable Apartment. *Journal of Architectural Research and Education*, 1(2), 139. <https://doi.org/10.17509/jare.v1i2.22305>
- Su, X., Wang, Z., Xu, Y., & Liu, N. (2020). Thermal comfort under asymmetric cold radiant environment at different exposure distances. *Building and Environment*, 178(February), 106961. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106961>
- Vakalis, D., Touchie, M., Tzekova, E., MacLean, H. L., & Siegel, J. A. (2019). Indoor environmental quality perceptions of social housing residents. *Building and Environment*, 150(December 2018), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.062>

- Wei, W., Wargoeki, P., Zirngibl, J., Bendžalová, J., & Mandin, C. (2020). Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy and Buildings*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109683>
- Yang, B., Li, X., Liu, Y., Chen, L., Guo, R., Wang, F., & Yan, K. (2022). Comparison of models for predicting winter individual thermal comfort based on machine learning algorithms. *Building and Environment*, 215(March), 108970. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108970>
- Yang, D., & Mak, C. M. (2020). Relationships between indoor environmental quality and environmental factors in university classrooms. *Building and Environment*, 186(September), 107331. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107331>