BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk membandingkan beberapa penelitian sebelumnya yang sesuai dengan judul yang akan diteliti saat ini. Penelitian Sarinda dkk., (2017) yang berjudul "Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal di Gedung 3 FKIP Universitas Jember" menggunakan metode *oneway anova*. Hasil yang diperoleh yaitu rata-rata suhu sekitar 26°C-29°C, kenyamanan belajar mahasiswa terjadi pukul 05.30-10.30 WIB, merasa kurang nyaman pukul 10.40- 17.30 WIB.

Penelitian Yunita dkk., (2018) yang berjudul "Kenyamanan Termal SMP Negeri di Wilayah Pesisir, Dataran Rendah dan Pegunungan di Kabupaten Pangkajene Kepulauan". Penelitian ini menggunakan metode uji *T-test* dengan variabel faktor lingkungan dan individu. Hasil didapatkan yaitu terdapat perbedaan suhu dan kelembaban di daerah dataran tinggi dengan dataran rendah, hal ini dipengaruhi oleh letak geografis.

Penelitian Sujannah dkk., (2019) yang berjudul "Evaluasi Kenyamanan Termal Hana *Cafe* Darussalam, Banda Aceh" dengan metode PMV. Hasil yang diperoleh yaitu responden merasa nyaman di suhu 29,6°C, sedangkan hasil PMV suhu nyaman diprediksi berada pada 21,2°C. Terdapat penyimpangan hasil perhitungan PMV ketika diterapkan untuk ruang yang semi *outdoor*.

Penelitian Fidela dkk, (2019) yang berjudul "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas dengan Metode Analisis *Predicted Mean Vote* (PMV) Studi Kasus: Ruang Kuliah Umum 1 Universitas Syiah Kuala". Penelitian ini menggunakan metode PMV dan PPD dengan faktor lingkungan sebagai variabelnya. Hasil rata-rata PMV 2,7 untuk ruang 002 dan 003 serta PPD tertinggi ada pada ruang 002 sebesar 94,74%, persepsi responden untuk ruang 002 66% (netral), dan ruang 003 64% .

Penelitian Nizarli dkk., (2020) yang berjudul "Evaluasi Desain Ventilasi Untuk Pencapaian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Sekolah" dilakukan secara observasi.

Data yang diambil yaitu dari faktor lingkungan serta persepsi pengguna. Hasil diperoleh yaitu desain ventilasi yang ada sudah memberikan kenyamanan meskipun masih kurang maksimal.

Penelitian Istiningrum dkk, (2017) yang berjudul "Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah Pada Gedung Sekolah C Lantai 2 Politeknik Negeri Semarang" menggunakan metode PMV dan PPD. Hasil yang diperoleh ruang SC II-10 menjadi salah satu kelas dengan kondisi termal nyaman dibandingkan kelas lainnya. Nilai PMV yang diperoleh yaitu +1,61 dan kecepatan angin menjadi faktor yang berpengaruh dalam menentukan nilai PPD.

Penelitian Lutfi, (2020) yang berjudul "Evaluasi Kenyamanan Termal Di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta". penelitian ini menggunakan metode PMV dan PPD. Hasil yang didapatkan yaitu nilai PMV masuk dalam kategori *slightly warm* (9B dan 9D), kategori *warm* (8C dan 8D) dengan nilai PPD 46,05% yang dikatakan tidak nyaman.

Penelitian Aienna, dkk, (2016) yang berjudul "Kenyamanan Termal Ruang Kelas Di Sekolah Tingkat SMA Banjarmasin Timur " dengan metode PMV dan PPD. Penelitian ini mengambil sampel beberapa kelas di SMA yang berada di Banjarmasin Timur. Hasil yang diperoleh menunjukan kenyamanan belajar siswa yaitu pada jam pelajaran 1 sampai 4, sedangkan pada jam pelajaran 5 sampai 8 siswa merasa tidak nyaman.

Penelitian Risnandar, (2019) yang berjudul "Kenyamanan Termal dan Kepuasan Pengguna Ruang Kelas di Gedung Kampus ITSB" menggunakan metode simulasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja desain pasif yang ada di kampus ITSB. Hasil yang diperoleh yaitu responden merasa nyaman karena penghawaan yang alami pada desain pasif gedung berkontribusi dalam memberikan rasa nyaman.

Penelitian Razak, dkk (2020) yang berjudul "Sensasi Termal Pelajar di Dalam Ruang Kelas" menggunakan metode observasi. Penelitian ini hanya menggunakan data temperatur udara di ruang kelas sebagai objek penelitian. Hasil yang diperoleh yaitu sebagian besar pelajar merasa tidak nyaman ketika pukul 12.00 WITA.

Penelitian Munawaroh & Elbes, (2019) yang berjudul "Persepsi Pengguna Terhadap Kenyamanan Termal Pada Bangunan Perpustakaan Ibi Darmajaya Lampung" dengan metode observasi. Hasil yang diperoleh faktor suhu dan kecepatan angin dikatakan tidak nyaman, sedangkan faktor kelembaban dinyatakan nyaman. Persepsi responden 50% nyaman, 30% sangat nyaman, 20% tidak nyaman.

Penelitian Jindal, (2018) yang berjudul "*Thermal Comfort Study in Naturally Ventilated School Classrooms in Composite Climate of India"* dengan metode PMV dan PPD. Data yang diperoleh yaitu tentang temperatur, kelembaban, kecepatan angin serta kuesioner. Hasil dari penelitian ini yaitu suhu yang didapat 27,1°C (netral).

Penelitian Dwiyan & Murni, (2019) yang berjudul "Kenyamanan Termal Bangunan Sekolah Dasar Negeri (Studi Kasus: Sekolah Dasar Negeri Ulujami 02, Jakarta Selatan)" dengan metode *purposive.* Pada penelitian ini didapatkan hasil 43% siswa merasa tidak nyaman dengan suhu ruang kelas. Suhu ruang dikatakan nyaman berada di 30,2°C.

Penelitian Kim & Dear, (2018) yang berjudul *"Thermal Comfort Expectations and Adaptive Behavioural Characteristics of Primary and Secondary School Student*" dengan metode observasi. Penelitian ini dilakukan selama musim panas. Hasil yang diperoleh yaitu responden lebih menyukai udara yang lebih dingin daripada netral serta lebih menyukai ruangan yang menggunakan AC.

Penelitian Aparicio-ruiz dkk., (2021) yang berjudul "*A Field Study on Adaptive Thermal Comfort in Spanish Primary Classrooms During Summer Season*" dengan metode PMV. Hasil yang diperoleh yaitu sebagian besar responden merasa nyaman. Hal yang dilakukan siswa untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruangan adalah membuka jendela serta pintu.

Penelitian Verma & Netam, (2020) yang berjudul "*A Case Study on Thermal Comfort Analysis Of School Building*" dengan metode PMV dan PPD. Hasil yang diperoleh berdasarkan kuesioner, responden merasa suhu ruangan sedikit sejuk. Berdasarkan data yang diperoleh nilai PMV sebesar +1,04.

Penelitian Gunawan & Ananda, (2017) yang berjudul “Aspek Kenyamanan Termal Ruang Belajar Gedung Sekolah Menengah Umum Di Wilayah Kecamatan Mandau” dengan metode observasi. Hasil yang diperoleh yaitu kenyamanan termal sebagian gedung sekolah di Kecamatan Mandau belum memenuhi standar yang ditentukan. Hal ini dikarenakan banyaknya sekolah yang masih minim penghijauan di lingkungan sekitar.

Penelitian T Zulfiana dkk., (2020) yang berjudul “Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura Dengan Menggunakan *Ecotect*”. Penelitian ini dilakukan pada siang hari ketika suhu udara tinggi. Hasil yang diperoleh yaitu insulasi atap memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan ruang.

Penelitian Susanti & Fandeli, (2017) yang berjudul “Pemilihan dan Implementasi Strategi Peningkatan Kenyamanan Termal Ruang Kuliah” dengan metode AHP. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pemilihan alternatif untuk menciptakan kondisi termal ruang kuliah. Hasilnya menunjukan bahwa strategi yang bisa digunakan untuk meningkatkan kenyamanan termal adalah dengan menggunakan vegetasi alami.

Berdasarkan beberapa uraian tentang penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kenyamanan termal maka peneliti mengambil metode penelitian PMV (*Predicted Mean Vote* (PMV) serta *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD). Metode tersebut digunakan karena mampu mengkombinasikan faktor lingkungan dan faktor individu menjadi satu sehingga kondisi termal yang ada pada ruang kelas dapat diketahui. Penelitian ini juga menggunakan kuesioner yang dilakukan untuk mengetahui persepsi siswa tentang kenyamanan termal ruang kelas.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Variabel		Metode Penelitian Kenyamanan Termal							
		Faktor Lingkungan	**Faktor Individu**	***OneWay ANOVA***	**Uji T-Test**	**PMV**	**PPD**	**Observasi**	***Purposive***	**Simulasi**	**AHP**
1	Sarinda dkk., (2017)	✓		✓							
2	Yunita dkk., (2018)	✓	✓		✓						
3	Sujannah dkk., (2019)	✓				✓					
4	Fidela dkk., (2019)	✓				✓	✓				
5	Nizarli dkk., (2020)	✓						✓			
6	Istiningrum dkk., (2017)	✓	✓			✓	✓				
7	Lutfi, (2020)	✓	✓			✓	✓				
8	Aiena dkk., (2016)	✓	✓			✓	✓				
9	Risnandar, (2019)	✓								✓	
10	Razak dkk., (2020)	✓						✓			
11	Munawaroh & Elbes, (2019)	✓						✓			
12	Jindal, (2018)	✓				✓	✓				
13	Dwiyan & Murni, (2019)	✓							✓		
14	Kim & Dear, (2018)	✓						✓			
15	Aparicioruiz dkk., (2021)	✓				✓					
16	Verma & Netam, (2020)	✓				✓	✓				
17	Gunawan & Ananda, (2017)	✓						✓			
18	T Zulfiana dkk., (2020)	✓								V	
19	Susanti & Fandeli, (2017)	✓									✓

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Kenyamanan Termal

Standar internasional *ASHRAE* (*American Society of Heating Refrigerating Air Condition Engineer*) menyebutkan bahwa kenyamanan termal yaitu perasaan seseorang ketika merasakan nyaman berada di suatu lingkungan dengan kondisi tertentu. Kondisi lingkungan bisa dikatakan nyaman apabila dalam pengukurannya terdapat <90% respon responden menyatakan rasa nyaman dalam konteks termal (Dwiyan & Murni, 2019). Rasa nyaman terhadap kondisi lingkungan yang timbul antar individu tidak selalu pasti, bahkan setiap individu mempunyai rasa nyaman berbeda-beda. Oleh karena itu, setiap individu memiliki zona kenyamanan masing-masing.

Pengertian lain dari kenyamanan termal menurut Petter Hoppe, beliau menyebutkan bahwa terdapat 3 pemaknaan tentang kenyamanan termal, antara lain:

1. Pemaknaan *thermophysiological*, yaitu nyaman serta tidaknya kondisi suatu lingkungan tergantung dengan nyala serta matinya sinyal saraf reseptor termal yang berada pada kulit dan otak.
2. Pemaknaan *heat balance*, yaitu keseimbangan kulit dan tingkat keringat dalam tubuh yang masuk dalam kategori nyaman dengan kenyamanan termal bisa tercapai apabila aliran panas masuk ke tubuh.
3. Pemaknaan psikologis, yaitu pemikiran individu yang mengekspresikan kepuasannya terhadap lingkungan termal di sekitarnya (Ahmad, 2020).

2.2.2. Faktor Kenyamanan Termal

Faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal menurut *ASHRAE 55* ada 2 yaitu yang berasal dari lingkungan dan dari individu itu sendiri. Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal

1. Faktor Lingkungan
   a. Suhu udara

      Faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal yaitu suhu udara karena ketika terjadi perubahan suhu ruangan/sekitar maka tubuh manusia akan merespon akibat perubahan suhu yang diterima. Hal ini tentunya menyebabkan

rasa tidak nyaman seperti halnya ketika suhu udara berada di ukuran tertentu, efek yang diterima oleh manusia akan mengalami kedinginan atau kepanasan.

Letak geografis suatu wilayah juga mempengaruhi suhu udara. Hal ini dibuktikan dengan penelitian-penelitian yang berkembang tentang suhu udara di setiap wilayah sebagai batas kenyamanan termal dapat diterima oleh tubuh manusia (Sari, 2018).

Tabel 2.2 Batas Kenyamanan Temperatur Efektif

Pengarang	**Tempat kelompok**	**Manusia**	**Batas kenyamanan**
ASHRAE	USA Selatan (30°LU)	Peneliti India	20.5°C-24.5°C TE
Rao	Calcutta (22° LU)	Malaysia	20°C-24.5°C TE
Webb	Singapura Khatulistiwa	Cina	25°C-27°C TE
Mom	Jakarta (6°LS)	Indonesia	20°C-26°C TE
Ellis	Singapura Khatulistiwa	Eropa	22°C-26°C TE

Sumber: Bangunan Tropis, Georg. Lippsmeier (dalam Y.Sari, 2018)

Selain pengaruh letak geografis, suhu udara juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain seperti sudut datang sinar matahari, rotasi bumi, banyaknya awan, serta arah angin (Sujannah dkk., 2019).

b. Temperatur Radian

Temperatur radian merupakan objek yang dapat memantulkan atau menghasilkan hawa panas. Temperatur radian memiliki kemampuan lebih besar dari udara dalam melepas atau melepas hawa panas (Putera, 2020). Contohnya penggunaan cat pada bangunan serta material yang digunakan, cara untuk mengatasinya bisa dengan penanaman pohon maupun mengganti cat warna bangunan. Penggunaan warna cat gelap pada bangunan mempengaruhi daya serap panas yang tinggi namun penggunaan warna cat yang terang dapat menurunkan atau memantulkan daya serap panas (Wibowo, 2020). Persamaan radian dapat dilihat pada persamaan seperti berikut ini.

$$TR=(0{,}7 \text{ x } T_{bp})+(0.3 \text{ x } (1.36 \text{ x } T)\text{-}2.358) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

Keterangan:

T_{bp} = Temperatur basah (°C)

T = Temperatur udara (°C)

c. Kelembaban

Kelembaban udara yang sering dipakai adalah kelembaban relatif. Kelembaban (RH) adalah perbandingan tekanan uap air aktual dengan uap air kondisi jenuh. Persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

$$RH=(Pa/Ps)\text{x } 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

Keterangan:

Pa = tekanan uap aktual

Ps = tekanan uap kondisi jenuh

Uap air kondisi jenuh adalah udara yang sudah tidak mampu menyerap air. Batas kenyamanan yang bisa diterima manusia adalah 30 RH%-60 RH% (Putera, 2020) atau kelembaban udara lebih rendah dari suhu udara daripada kelembaban udaranya lebih tinggi (< 2RH%) (Zaraa dkk., 2021).

d. Kecepatan angin

Pengertian kecepatan angin yaitu aliran udara yang bergerak diketinggian 2m diatas permukaan tanah secara *horizontal*. Faktor yang mempengaruhi kecepatan angin yaitu adanya perbedaan tekanan udara (Putera, 2020). Hal ini juga berkaitan dengan suhu udara yang apabila kecepatan angin cukup besar maka akan menimbulkan efek sejuk ketika suhu udara terasa panas. Ketika suhu udara dingin dan kecepatan anginnya cukup besar maka akan menimbulkan efek dingin pada tubuh manusia. Oleh karena itu, terdapat standar kecepatan angin menurut Lippsmeier 1977 sebagai berikut (Elbes & Munawaroh, 2019).

Tabel 2.3 Standar Kecepatan Angin Menurut *Lippsmeier*

Kecepatan Angin (m/s)	**Indikator**
<0.25 m/s	Nyaman
0.25–0.5 m/s	Nyaman, udara terasa
1.0–1.5 m/s	Udara terasa ringan hingga tidak menyenangkan
>1.5 m/s	Udara tidak menyenangkan

Sumber: Lippsmeier 1977 (dalam R, Elbes, 2019)

e. Kebisingan

Kebisingan berdasarkan Permenaker No. 13 Tahun 2011 merupakan semua suara yang tidak dikehendaki dari alat-alat proses produksi atau peralatan kerja pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran (Chusna dkk., 2017). Tingkat kebisingan dapat dibagi menjadi beberapa area seperti dibawah ini, yaitu:

1. Area A: 35-45 dB (*desibel)*, untuk rumah sakit
2. Area B: 45-55 dB, untuk perumahan, tempat wisata dan sekolah
3. Area C: 50-60 dB, untuk perkantoran dan pasar
4. Area D: 60-70 dB, untuk tempat, stasiun, terminal (Malau & Jehadun, 2018).

International Air Transportation Association (IATA) membagi area kebisingan sebagai berikut:

1. Area A: >150 dB, pekerja harus menghindari daerah ini.
2. Area B: 135-150 dB, pekerja perlu memakai alat pelindung telinga (APT) seperti *earplug* dan *earmuff*
3. Area C: 115-135 dB, pekerja pakai alat pelindung telinga seperti *earmuff*
4. Area D: 100-115 dB, pekerja pakai alat pelinding telinga seperti *earplug* (Nasution, 2019).

Selain zona yang mewakili tingkat kebisingan, berikut ini adalah waktu diperbolehkan untuk bekerja berdasarkan tingkat kebisingan (Hendrawan & Hendrawan, 2020).

Tabel 2.4 Waktu Maksimum untuk Bekerja

No.	Tingkat Kebisingan (dB)	Waktu yang diperbolehkan (Jam)
1	85 dB	8 Jam
2	88 dB	4 Jam
3	91 dB	2 Jam
4	94 dB	1 Jam
5	97 dB	30 Menit
6	100 dB	15 Menit

Sumber: Hendrawan, 2020.

Sumber-sumber kebisingan dapat berasal dari kegiatan lalu lintas meliputi suara kendaraan, jika di dunia kebisingan bisa berasal dari mesin-mesin produksi serta untuk pemukiman, kebisingan bisa berasal dari volume musik atau televisi yang diputar serta masih banyak lagi (Al Ghany, 2020).

2. Faktor Individu

a. Pakaian

Pakaian menjadi faktor penting untuk mencapai kenyamanan termal. Pakaian yang digunakan oleh manusia tentunya menyesuaikan kondisi iklim serta cuaca di wilayahnya. Pada musim dingin untuk negara-negara yang memiliki iklim, sedang hingga dingin akan menggunakan jaket tebal berbulu ketika memasuki musim dingin.

Penggunaan jaket tebal untuk wilayah tropis seperti Indonesia hanya akan mengakibatkan kepanasan. Oleh karena itu, penggunaan pakaian yang sesuai dengan wilayah tempat tinggal atau kondisi lingkungan akan dapat membantu tubuh manusia merasa nyaman. Berikut ini indeks pengaturan nilai *clo* (*clothing value)* berdasarkan jenis pakaian yang digunakan.

Tabel 2.5 Indeks Nilai *Clo*

Uraian		***Clo***	**Penahanan panas m².°C/W**
Pakaian dalam, celana	Celana dalam pendek	0.03	0.005
	Celana dalam kaki Panjang	0.1	0.016
Pakaian dalam, baju	Bra	0.01	0.002
	Baju tanpa lengan	0.06	0.009
	baju lengan panjang	0.12	0.019
Blus, baju	Blus ringan lengan pendek	0.09	0.029
	Blus ringan lengan Panjang	0.2	0.031
	Baju biasa dengan lengan Panjang	0.25	0.039
	Blus kerah tinggi lengan Panjang	0.34	0.053
Celana	Celana pendek	0.06	0.009
	Celana pendek selutut	0.11	0.17
	Celana panjang ringan	0.2	0.031
Baju kerja bengkel	Harian bersabuk	0.49	0.076
Baju hangat	Baju hangat lengan Panjang	0.28	0.43

Sumber: A.R Ahmad,2020

Perhitungan nilai insulasi pakaian yang digunakan dapat dilakukan dengan rumus berikut ini.

1) Nilai insulasi pakaian untuk wanita

$$Clo \text{ wanita} = 0.770(\Sigma \text{ masing-masing } clo) + 0.050 \quad (2.3)$$

2) Nilai insulasi pakaian untuk pria

$$Clo \text{ pria} = 0.727(\Sigma \text{ masing-masing } clo) + 0.113 \quad (2.4)$$

b. Aktivitas

Banyaknya aktivitas yang dilakukan oleh manusia akan menyebabkan semakin besarnya dalam tubuh. Hal tersebut mengakibatkan manusia akan mudah berkeringat serta menyebabkan rasa tidak nyaman baik saat bekerja

maupun saat melakukan aktivitas lainnya. Berikut ini adalah nilai aktivitas yang dilakukan manusia.

Tabel 2.6 Aktivitas Metabolisme

Aktivitas	**met**	**Watt/m²**
Berbaring	0.8	46
Duduk dengan tenang	1	58
Berdiri santai	1.2	70
Aktivitas biasa (sekolah, kantor, rumah tangga, lab)	1.2	70
Menyetir mobil	1.4	80
Berdiri, aktivitas ringan (berbelanja, industri ringan)	1.6	93
Dosen, guru, mengajar di depan kelas	1,6	95
Kerja rumah tangga (mandi, berpakaian)	1.7	100
Berjalan di dataran (2 km/jam)	1.9	110
Berdiri, aktivitas sedang (jaga toko, cuci piring)	2	116
Tempat bangunan (memasang batu bata)	2.2	125
Kerja di kebun (mengumpulkan daun)	2.9	170
Kerja rumah tangga (mencuci, menyetrika	2.9	170
Kerja industri (menuang dan mencetak besi)	3.1	180
Tempat bangunan (memasang bekisting)	3.1	180
Berjalan di dataran (5 km/jam)	3.4	200
Bekerja di hutan (memotong kayu dengan gergaji)	3.5	205
Bidang pertanian (membajak dengan kerbau)	4	235
Tempat bangunan (mengaduk mortar)	4.7	275
Pertanian (mencangkuli tanah, 24 angkatan/menit)	65	380
Kerja di hutan (menggunakan kapak seberat 2 kg, 33 ayunan/m	8.6	500
Olahraga lari (15 km/jam)	9.5	550

Sumber: A.R Ahmad,2020

Berbeda dengan *ASHRAE 55* mengenai faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal dilihat dari sisi individunya, Szokolay menambahkan faktor usia, jenis kelamin, warna kulit serta tingkat individu terhadap

kenyamanan termal (Hadi dkk., 2020). Berikut ini faktor kenyamanan termal berdasarkan para ahli.

Tabel 2.7 Faktor Kenyamanan Termal Menurut Para Ahli

Szokolay	**Fanger, *ASHRAE 55-1992*, ISO 7730:1994**	**Nicol dan Humphreys**
Lingkungan 1. Matahari (besarnya radiasi) 2. Suhu udara 3. Angin (kecepatan angin) 4. Kelembaban udara luar	**Lingkungan** 1. Matahari (besarnya radiasi) 2. Suhu udara 3. Angin (kecepatan angin) 4. Kelembaban udara luar	**Lingkungan** 1. Matahari (besarnya radiasi) 2. Suhu udara 3. Angin (kecepatan angin) 4. Kelembaban udara luar
Faktor Individu 1. Pakaian 2. Aklimatisasi 3. usia dan Jenis Kelamin 4. Tingkat kegemukan 5. Tingkat kesehatan 6. Jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi	**Faktor Individu** 1. Pakaian 2. Aktivitas	**Faktor Individu** 1. Aktivitas dilakukan 2. Pakaian 3. Adaptasi individu 4. Letak geografis

Sumber: Y.Hadi, et.al, 2020

4.2.3. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia

Standar kenyamanan termal yang yang diperbolehkan di Indonesia tercantum dalam peraturan MENKES Nomor 48 Tahun 2016 menyatakan bahwa batas temperatur pada ruang 23°C-26°C (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016, 2016). Standar kenyamanan termal Indonesia berdasarkan 3 tingkatan kenyamanan khususnya untuk orang Indonesia sesuai dengan ketetapan MenKes SNI 03-6572-2001 sebagai berikut (Rusdhawan, 2021).

Tabel 2.8 Temperatur Efektif

	Temperatur Efektif (TE)	**Kelembaban/RH %**
Sejuk nyaman	20.5°C-22.8°C TE	50%
Ambang atas	24°C TE	80%
Nyaman optimal	22.8°C-25.8°C TE	70%
Ambang atas	28°C TE	
Hangat nyaman	25.8°C-27.1°C TE	60%
Ambang atas	31°C TE	

Sumber: SN1 2001 (dalam F. Rusdhawan, 2021)

4.2.4. PMV (*Predicted Mean Vote*)

Penyusunan model PMV (*Predicted Mean Vote*) yaitu berdasarkan teori dari Fanger (1982) yang menjelaskan tentang hubungan sensasi termal dengan kombinasi kenyamanan termal dengan kombinasi kenyamanan termal yang terdiri dari faktor lingkungan (temperatur, kelembaban, kecepatan angin) dan faktor individu (insulasi pakaian dan tingkat aktivitas) (Febiyani, 2020). Kondisi termal manusia dikatakan nyaman apabila termoregulator tubuh memiliki kondisi yang konstan. Indeks PMV ini dijadikan dasar untuk penyusunan standar ISO 7730 atau standar yang di desain untuk pengendalian udara (Sugini, 2014). Persamaan PMV dapat dituliskan sebagai berikut.

$$PMV = 0.303e^{-0,036}\mathrm{M} + 0.028x[(M\text{-}W)\text{-}3.05x10^{-3}$$
$$\{5733\text{-}6.99x(M\text{-}W)\text{-}P_a\}\text{-}0.42\{(M\text{-}W)\text{-}58.15$$
$$\text{-}1,7x10^{-5}M(5867\text{-}P_a)\text{-}0.0014M(34\text{-}t_a)\text{-}3.96x10^{-8}f_{cl}$$
$$\{(t_{cl}+273)^4\text{-}(t_r\text{+}273)^4\}\text{-}f_{cl}h_c(t_{cl}\text{-}t_a)] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.5)$$

$$t_{cl}\text{=}35.7\text{-}0.028(M\text{-}W)\text{-}0.155l_{cl}[3,96x10^{-8}f_{cl}$$
$$\{(t_{cl}\text{+}237)^4[(t_r\text{+}237)^4]\text{+}f_{cl}h_c(t_{cl}\text{-}t_a)] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

$$\mathrm{h_c}=\max(2.38(\mathrm{t_{cl}}\text{-}\mathrm{t_a})0.2512.1\sqrt{\mathrm{V}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

$$\mathrm{f_{cl}}=1.0+0.2\mathrm{I_{cl}} \text{ untuk } \mathrm{I_{cl}}<0.5 \text{ clo}$$
$$1.05+0.1\mathrm{I_{cl}} \text{ untuk } \mathrm{I_{cl}}>0,5 \text{ clo} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

Dimana:

M = tingkat aktivitas (W/m^2)

W = Aktivitas luar (W/m^2), sebagian besar aktivitas

f_{cl}= Rasio permukaan orang ketika berpakaian dan tidak

t_{cl}= Temperatur pakaian (°C)

t_r =Temperatur radiasi (°C)

h_c= Konvektif *heat transfer* (W/m^2/K)

t_a= Temperatur udara (°C)

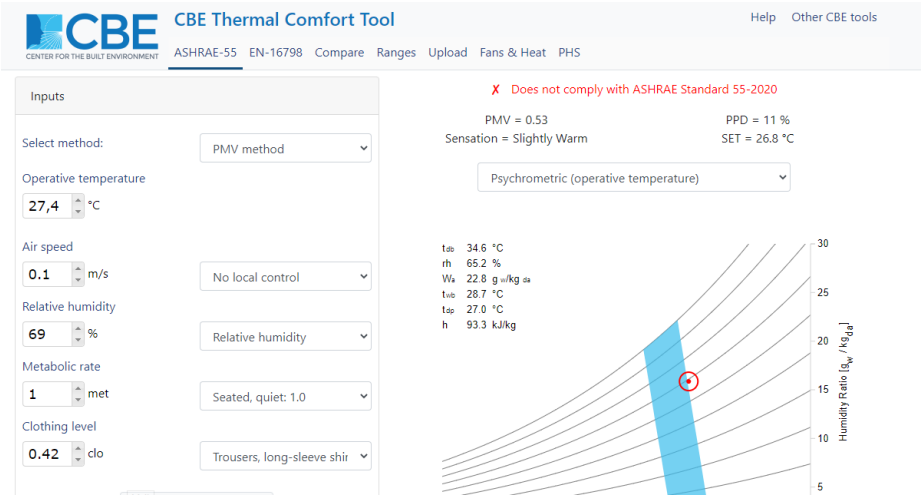
p_a= Kelembaban udara (Pa)

I_{cl}= Insulasi pakaian (clo)

V= Kecepatan aliran udara (m/s)

Penentuan nilai PMV dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti dibawah ini, yaitu:

1. Melalui digital (ISO, 2005). Salah satu program yang bisa mengetahui nilai PMV tanpa melakukan perhitungan rumit adalah *CBE Thermal Comfort Tool. Software* ini menggunakan standar *ASHRAE 55* untuk memprediksi kenyamanan termal dan dapat diakses melalui *website* resmi CBE *Thermal Comfort Tool* (Tartarini dkk., 2020).



Gambar 2.1 *CBE Thermal Comfort Tool*
Sumber: https://comfort.cbe.berkeley.edu/

2. Melalui tabel nilai PMV (ISO, 2005). Nilai PMV dapat dinyatakan dengan standar sensasi termal menurut *ASHRAE* seperti berikut ini (Carlucci dkk., 2021).

Tabel 2.9 Nilai PMV (*Predicted Mean Vote*)

Skala	Sensasi Termal
3	Panas (*Hot*)
2	Hangat (*Warm*)
1	Agak hangat (*Slightly Warm*)
0	Netral
-1	Agak dingin (*Slightly Cool*)
-2	Dingin (*Cool*)
-3	Sangat dingin (*Cold*)

Sumber: S.Carlucci,2021

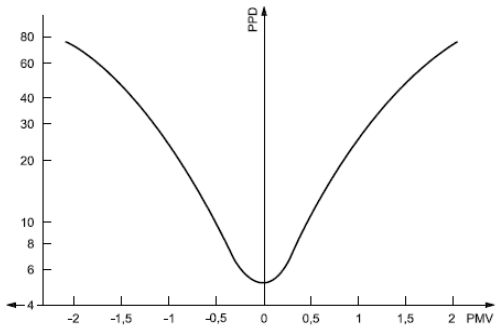
3. Pengukuran langsung dengan sensor yang terintegrasi (ISO, 2005).

4.2.5. PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied)*

PPD merupakan indeks kenyamanan termal untuk mengetahui seberapa banyak orang yang merasa tidak nyaman terhadap paparan termal diterima (ISO, 2005). Persamaaan PPD dapat ditulis seperti berikut ini:

$$\mathrm{PPD} = 100 - 95\exp(-0.033530\mathrm{PMV}^4\text{-}0.2179\mathrm{PMV}^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots..(2.9)$$

Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakpuasan terhadap kenyamanan termal adalah dingin serta panasnya suatu ruangan (Verma & Netam, 2020), sehingga semakin tidak nyaman manusia dalam suatu tempat maka nilai PPD yang dihasilkan akan semakin tinggi (Putera, 2020). Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan PPD dengan nilai PMV sebagai berikut.



Gambar 2.2 Hubungan PPD dengan PMV
Sumber: ISO 7730:2005

4.2.6. Strategi Pengendalian Kenyamanan Termal

Aktivitas manusia dalam kehidupan sehari-hari perlu memperhatikan kenyamanan termal di lingkungan sekitarnya sehingga ketidaknyamanan saat beraktivitas tidak menjadi hambatan untuk terus meningkatkan produktivitasnya. Oleh karena itu, untuk mencapai kenyamanan termal yang diinginkan perlu melakukan berbagai strategi dalam mengendalikan kenyamanan termal. Berikut ini beberapa cara yang dapat dilakukan.

1. *Shade and Filter*

   Salah satu contoh penerapan strategi *shade & filter* adalah penggunaan peneduh untuk bangunan yang berfungsi sebagai penyaring sinar matahari sehingga panas yang dihasilkan ketika masuk kedalam ruangan tidak terlalu panas. Penerapan peneduh untuk suatu bangunan terdapat 3 tipe seperti berikut ini.

   a. Tipe *Horizontal*, penggunaan tipe peneduh *horizontal* efektif untuk bangunan dengan *fasad* (tampak depan suatu bangunan) menghadap timur dan barat serta *altitude* (ketinggian) sinar matahari tinggi (pukul 10.00-14.00).

Gambar 2.3 *Shade & Filter* Tipe Horizontal
Sumber: Ayca Kirimtat, et.al:2016

   b. Tipe *Vertikal*, penggunaan tipe peneduh efektif untuk bangunan yang memiliki *fasad* (tampak depan suatu bangunan) menghadap utara dan selatan serta *altitude* (ketinggian) sinar matahari rendah (pukul 14.00-16.00).

Gambar 2. 4 *Shade & Filter* Tipe *Vertikal*
Sumber:Ayca Kirimtat, et.al:2016

c. Tipe gabungan, penggunaan tipe gabungan ini efektif untuk bangunan dengan berbagai *altitude* sinar matahari.

Gambar 2.5 *Shade & Filter Tipe Gabungan*
Sumber: https://edgebuildings.com/

2. *Green*

Strategi *green* dalam pengendalian kenyamanan termal yaitu memanfaatkan vegetasi untuk rumah maupun bangunan sehingga mampu menciptakan efek dingin untuk bangunan tersebut serta lingkungan sekitarnya. Strategi pemanfaatan vegetasi ini terdapat 3 jenis, yaitu:

a.*Landscape*

Strategi penataan pemilihan vegetasi agar membentuk iklim mikro yang dapat menunjang kenyamanan termal suatu bangunan. Tingkat efektifitas bergantung pada besar atau kecilnya vegetasi yang ada, semakin tinggi dan besar

vegetasi yang ada maka mampu menyerap sinar matahari banyak Sebaliknya, semakin kecil vegetasi yang ada maka sedikit juga menyerap sinar matahari yang ada.

b.*Green Roof*

Green roof merupakan salah satu strategi pengendalian termal dengan cara melakukan pengadaan vegetasi yang terletak di atap bangunan, hal ini bertujuan untuk memperoleh insulasi termal terhadap radiasi matahari sehingga mampu terbentuk iklim mikro. Pemilihan strategi *green roof* ini juga tidak sembarangan, manusia perlu memperhatikan jenis tanaman yang akan digunakan seperti *intensive garden* yang merupakan jenis *green roof* yang menggunakan pohon besar serta *extensive garden* yaitu penggunaan jenis tanaman seperti rumput serta semak.

c. *Skycourt* (Taman Gantung)

Taman gantung merupakan salah satu pengendalian termal yang bisa dilakukan oleh manusia dengan cara melakukan pengadaan vegetasi diletakkan menggantung sehingga efek ditimbulkan yaitu hawa alami.

3. *Cooling Effect*

Cooling effect merupakan strategi pengendalian termal yang menggunakan elemen air sebagai pendinginan udara (Latifah, 2015).