

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Teori**

##### **2.1.1 Kenyamanan Ruang**

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), kenyamanan yang berasal dari kata "nyaman" memiliki makna kesegaran dan kesehatan. Kenyamanan dapat didefinisikan sebagai kondisi yang nyaman, segar, dan sehat. Manusia biasa mengevaluasi kondisi di sekitarnya melalui keenam indra yang menerima rangsangan kemudian dialirkan oleh saraf sebelum diproses oleh otak untuk melalui evaluasi akhir. Pada proses ini yang terlibat tidak hanya aspek biologis, melainkan juga aspek emosional. Otak secara bersamaan menerima rangsangan-rangsangan suara, cahaya, aroma, suhu dan rangsangan-rangsangan lainnya. Melalui semua proses ini, barulah otak akan menilai suatu kondisi dapat dikatakan nyaman atau tidak (Satwiko P., 2009)

Dalam konteks arsitektur dan fisika bangunan, latar belakang membahas konsep kenyamanan dan perasaan nyaman sebagai penilaian komprehensif individu terhadap lingkungannya (Satwiko P. 2009). Para pakar juga beranggapan bahwa kenyamanan adalah suatu keadaan dimana seseorang merasa tenang secara fisik dan mental tanpa adanya gangguan yang dapat menghambat produktivitas. Dalam perspektif arsitektur, kenyamanan juga dipengaruhi oleh aspek visual dan akustik. Lebih jauh lagi, kedua jenis kenyamanan ini dapat dipengaruhi oleh faktor-aktor seperti kondisi alamiah/iklim, pola sirkulasi, tingkat kebisingan, aroma/bau, tingkat keamanan, struktur bangunan, tingkat kebersihan, estetika, dan pencahayaan (Hakim, 2012).

Kenyamanan visual mengacu pada tingkat kenyamanan yang dipengaruhi oleh pencahayaan, baik itu alami maupun buatan. Penilaian terhadap kenyamanan visual tidak bisa hanya berdasarkan pada standar umum, karena persepsi kenyamanan dapat berbeda antar individu, yang memengaruhi cara mereka menilai tingkat kenyamanan pencahayaan di dalam suatu ruangan (Widiyantoro, Muladi, & Vidiyanti, 2017). Di sisi

lain, kenyamanan akustik memiliki dampak signifikan pada atmosfer dan lingkungan di mana manusia beraktivitas. Hal ini terutama penting dalam konteks ruang kelas di mana suasana tenang dan sunyi diperlukan untuk mencapai tingkat konsentrasi yang optimal.

### **2.1.2 Kenyamanan Termal**

Nita manusia secara alami dapat merasakan tingkat kenyamanan di suatu tempat lewat persepsi. Ketika suhu di ruangan berada dalam suatu kondisi termal yang ideal maka manusia dapat merasa nyaman. Proses ini pada dasarnya mengacu pada seimbangannya produksi panas badan dan pengeluaran panas badan ke lingkungan, yang dikenal sebagai homeostasis. Homeostasis adalah istilah yang menggambarkan kondisi di mana tubuh menjaga keseimbangan internalnya. Kenyamanan termal mencerminkan keadaan pikiran manusia yang puas dengan kondisi termal di sekitarnya (Nugroho, 2007). Dalam konteks bangunan, kenyamanan merujuk pada penciptaan kondisi yang membuat penggunanya merasa nyaman dan senang (Karyono, 2001). Kenyamanan termal dipengaruhi oleh alam, memengaruhi manusia, dan dapat diatur melalui desain arsitektur. Ini menekankan bahwa arsitektur perlu memahami kondisi lingkungan untuk mencapai kenyamanan termal yang optimal. Sejumlah faktor mempengaruhi tercapainya kondisi yang ideal sesuai dengan aturan ini.

Secara singkat, kenyamanan termal dapat tercapai melalui pengaturan atau manajemen perpindahan panas yang dialami oleh tubuh manusia. Perpindahan panas, diartikan sebagai proses pemindahan energi panas dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin. Tubuh manusia menghasilkan panas melalui beberapa sumber, termasuk proses metabolisme karbohidrat, kenaikan suhu udara di sekitarnya, dan paparan radiasi matahari.

### 2.1.3 Faktor-Faktor Kenyamanan Termal

Faktor utama yang mempengaruhi kenyamanan fisik manusia di dalam suatu ruangan adalah kenyamanan termal. Ketika suhu di sekitar tubuh manusia melebihi suhu tubuh normal ( $37^{\circ}\text{C}$ ), aliran darah ke permukaan kulit meningkat untuk memancarkan panas ke lingkungan melalui radiasi udara. Tubuh juga akan mengeluarkan keringat. Sebaliknya, ketika suhu lebih rendah dari suhu tubuh normal, aliran darah ke permukaan tubuh akan berkurang, menghambat pelepasan panas ke udara sekitar. Pada suhu yang lebih rendah, anggota tubuh akan terasa pucat dan dingin, otot akan menjadi tegang, dan tubuh mungkin menggigil. Ini merupakan mekanisme terakhir tubuh untuk mempertahankan suhu tubuh agar tetap seimbang (Baharuddin, dkk., 2013).

Menurut Koenigsberger et al. (1973), menetapkan ukuran-ukuran kenyamanan dengan tepat adalah tugas yang sangat kompleks. Hal ini disebabkan oleh kombinasi dari parameter seperti kecepatan udara berkisar antara 4,57 hingga 7,62 meter per menit, suhu udara sekitar  $20,4^{\circ}\text{C}$ , dan tingkat kelembaban sekitar 70%, dimana tingkat kelembaban sebesar 20% dari kecepatan udara yang disebutkan di atas menghasilkan kenyamanan yang setara. Kombinasi antara kelembaban, kecepatan angin, dan suhu udara dapat membentuk apa yang disebut sebagai temperatur efektif pada saat tersebut.

Faktor-faktor yang memengaruhi kenyamanan termal dapat dibagi menjadi dua kategori utama. Pertama, faktor klimatik, yang meliputi suhu udara, suhu radiasi, kecepatan angin, dan tingkat kelembaban. Kedua, faktor personal, yang melibatkan tingkat metabolisme yang dipengaruhi oleh tingkat aktivitas, serta tingkat resistensi pakaian yang ditentukan oleh jenis pakaian yang dipakai (ASHRAE, Handbook of Fundamental, 2017). Keseluruhan faktor tersebut dapat dipahami secara singkat lewat gambar berikut.



*Gambar 2. 1* Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal  
 Sumber: Thermal Comfort Basics: What is ASHRAE 55? | SimScale Blog

### a. Temperatur Udara

Kenyamanan termal sangat penting dalam menciptakan kesejahteraan di dalam ruangan. Suhu udara merujuk pada tingkat kehangatan atau kesejukan udara di suatu lokasi pada waktu tertentu, dipengaruhi oleh jumlah panas matahari yang diterima oleh bumi. Suhu udara dapat bervariasi antara lokasi yang berdekatan. Kenyamanan temperatur adalah salah satu aspek penting dalam menciptakan kenyamanan ruang. Temperatur udara adalah ukuran dari tingkat kehangatan atau kesejukan udara di suatu lokasi pada waktu tertentu, yang dapat dipengaruhi oleh jumlah panas matahari yang diserap oleh bumi.

Temperatur udara bisa jadi adalah salah satu faktor terbesar yang menjadi tolak ukur dalam menilai kenyamanan termal seseorang. Terdapat beberapa standar temperatur yang telah ditentukan dengan perbedaan standar yang biasanya terjadi karena adanya perbedaan iklim di setiap tempat, seperti pada tabel di bawah yang memperlihatkan dua jenis standar yang berasal dari ASHRAE-55 dan juga SNI. Meski standar ini bisa menjadi acuan, namun kondisi temperatur yang ideal di setiap tempat dapat memiliki perbedaannya masing-masing.

Tabel 2. 1 Standar Temperatur Udara Iklim Tropis

Temperatur Standar	Keterangan
ASHRAE-55 (2017)	19,6 C - 27,9 C
SNI 03-6572-20001	20 C - 30 C

Sumber: Pascal dkk, 2022

#### b. Kelembaban Udara

Kualitas udara tidak hanya mencakup aspek kebersihan, tetapi juga kenyamanan yang berkaitan dengan kelembaban. Kelembaban udara adalah kandungan uap air di atmosfer, diukur sebagai persentase. Ini mengacu pada jumlah uap air yang hadir dalam udara dalam bentuk gas, yang seringkali tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Tingkat kelembaban ini dapat mempengaruhi kondisi udara secara keseluruhan. Di daerah tropis seperti Indonesia, kelembaban sering kali tinggi dengan suhu yang relatif stabil sepanjang tahun, walaupun dapat mengalami fluktuasi selama musim hujan dan kemarau.

Terdapat beberapa cara untuk mengukur kelembaban, termasuk dengan menggunakan rasio campuran, kelembaban spesifik, dan kelembaban relatif. Dalam prakiraan cuaca, kita umumnya menggunakan kelembaban relatif, yang disingkat sebagai RH. Kelembaban udara diukur dengan membandingkan massa uap air terhadap massa udara kering dalam satuan tertentu, yang dikenal sebagai rasio campuran, dengan jumlah yang diperlukan untuk mencapai kondisi jenuh, disebut sebagai rasio campuran jenuh pada udara tersebut. Indeks kelembaban berkisar dari 0 hingga 100%, di mana 0% menunjukkan udara yang kering dan 100% menunjukkan udara yang jenuh dengan uap air, di mana tetesan air akan terbentuk (kondisi jenuh).

Kelembaban udara mencakup kadar uap air di atmosfer. Signifikansi kelembaban udara terutama terlihat ketika suhu udara mencapai atau melebihi batas zona kenyamanan termal, yakni ketika kelembaban udara melebihi 70%.

Oleh karena itu, kelembaban yang tinggi harus disertai dengan sirkulasi udara yang memadai dan berkelanjutan dengan standar yang sudah ada, seperti standar dari SNI dan juga standar yang dikeluarkan oleh ASHRAE-55 (Tabel 2.2). Di dalam ruangan, tingkat kelembaban dapat berubah dengan mudah tergantung pada aktivitas yang dilakukan. Misalnya, kegiatan seperti mandi atau mencuci tangan dapat meningkatkan tingkat kelembaban di dalam ruangan. Sebaliknya, aktivitas yang tidak melibatkan penggunaan air, terutama di ruangan yang menggunakan AC, cenderung membuat udara menjadi lebih kering karena udara dingin memiliki kapasitas penyimpanan uap air yang lebih rendah. Idealnya, tingkat kelembaban udara harus dipertahankan dalam kisaran 40 hingga 65% (RH).

Tabel 2. 2 Standar Kelembaban Udara

Kelembaban Standar	Keterangan
ASHRAE-55 (2017)	40% - 65%
SNI 03-6572-20001	40% - 30%

Sumber: Pascal dkk, 2022

### c. Kecepatan Aliran Udara

Angin mengacu pada pergerakan udara yang disebabkan oleh variasi tekanan dan suhu (Sawiko P., 2009). Di daerah tropis lembab, angin biasanya berhembus lemah, meskipun kadang-kadang dapat menjadi cukup kencang saat siang hari atau selama musim peralihan. Dalam kondisi ini, kenyamanan hanya dapat dirasakan ketika tubuh manusia terpengaruh oleh aliran angin.

Kecepatan aliran udara menunjukkan gerakan udara dalam ruangan yang mempengaruhi kenyamanan penghuninya. Standar kecepatan aliran

Tabel 2. 3 Standar Kecepatan Udara

Kecepatan Udara Standar	Keterangan
ASHRAE-55 (2017)	0,2 m/s - 0,8 m/s

Sumber: Pascal dkk, 2022

#### d. Temperatur Radian

Temperatur radian, atau sering disebut sebagai temperatur radiasi, adalah jenis temperatur yang berasal dari panas yang dihasilkan melalui proses radiasi. Di luar ruangan, temperatur jenis ini biasanya timbul karena paparan langsung terhadap sinar matahari. Pada ruangan dalam, temperatur radian dapat dipengaruhi oleh elemen-elemen seperti material, tata letak, bukaan, dan dimensi ruangan. Meskipun demikian, peran radiasi matahari tetap signifikan dalam menentukan temperatur ruangan, terutama jika desain bangunan tidak mempertimbangkan arah dan orientasi matahari. Oleh karena itu, seorang perancang harus mempertimbangkan secara seksama penempatan bukaan pada ruangan untuk meminimalkan dampak radiasi matahari.

Rumus perhitungan yang biasa dipakai untuk temperatur radian adalah sebagai berikut:

$$t_{op} = (t_r + t_{rad}) / 2$$

Dengan:

$t_{op}$  = Temperature operative ( °C)

$t_r$  = Temperatur udara kering dalam ruangan ( °C)

$t_{rad}$  = Temperatur radiasi ( °C)

e. **Pakaian**

Kenyamanan seseorang dipengaruhi oleh keseimbangan antara produksi panas internal dan pelepasan panas tubuh. Proses pelepasan panas tubuh melibatkan evapotranspirasi, konveksi, radiasi, dan konduksi. Ketahanan pakaian memengaruhi faktor-faktor konveksi, radiasi, dan konduksi, dan diukur dengan tingkat pakaian atau Clo. Skala ini bermula dari nol untuk situasi tanpa pakaian hingga level tertinggi yang mencakup jumlah, jenis, dan bahan pakaian yang digunakan. Kapasitas isolasi termal dari pakaian yang dikenakan adalah jumlah total dari kapasitas isolasi termal dari semua jenis pakaian yang dikenakan. Salah satu cara umum dan mudah untuk mencapai kenyamanan termal adalah dengan memilih cara berpakaian yang sesuai.

Untuk mendapatkan nilai clo gabungan, nilai clo dari setiap jenis pakaian dapat dijumlahkan sesuai dengan standar yang tercantum dalam tabel yang diberikan. Batas nyaman untuk pakaian biasa adalah ketika  $n \leq 0,5$  clo (Frick, 2008).

Tabel 2. 4 Pakaian dan Clothing Value

Deskripsi		Clo	Resistan, m <sup>2</sup> oC/W	
1	Pakaian dalam, celana	Celana dalam pendek sekali	0,02	0,003
		Celana dalam pendek	0,03	0,005
		Celana dalam	0,04	0,006
		Celana kaki ½, wool	0,06	0,009
		Celana kaki panjang	0,10	0,016
2	Pakaian dalam, baju	Bra	0,01	0,002
		Baju tanpa lengan	0,06	0,009
		Oblong	0,09	0,014
		Baju lengan panjang Half-slip, nylon	0,12	0,019
			0,14	0,022
3	Baju	Tube top	0,06	0,009
		Lengan pendek	0,09	0,029
		Blus ringan, lengan panjang	0,15	0,023
		Baju ringan, lengan panjang	0,20	0,031
		Baju normal, lengan panjang	0,25	0,039
		Baju flanel, lengan panjang	0,30	0,047

		Lengan panjang, blus kerah tinggi	0,34	0,053
4	Celana	Celana pendek Celana pendek selutut Celana panjang ringan Celana panjang normal Celana panjang flanel Celana terusan	0,06 0,11 0,20 0,25 0,28 0,28	0,009 0,017 0,031 0,039 0,043 0,043
5	Baju bengkel terusan	Harian, dengan sabuk Kerja	0,49 0,50	0,076 0,078
6	Baju bengkel dengan isolator panas	Terdiri atas beberapa komponen, berisi fibre-pelt	1,03 1,13	0,160 0,175
7	Sweater	Tanpa lengan Sweater tipis Lengan panjang, berkerah (tipis) Sweater Sweater tebal Lengan panjang, berkerah (tebal)	0,12 0,20 0,26 0,28 0,35 0,37	0,019 0,031 0,040 0,043 0,054 0,057

Sumber: Innova, 1997 dalam Prasasto Satwiko 2004

f. Tingkat Metabolisme

Manusia menghasilkan energi internal atau panas tubuh seiring dengan aktivitasnya. Semakin tinggi aktivitas, semakin tinggi pula tingkat metabolisme, dan akibatnya, semakin banyak energi atau panas yang dihasilkan. Jika lingkungan tidak mampu menyerap kelebihan panas yang dihasilkan oleh manusia (yang perlu dihilangkan untuk menjaga kenyamanan termal), maka individu akan merasa tidak nyaman.

Untuk mengembalikan kenyamanan termalnya, seseorang dapat memilih aktivitas yang lebih santai dan tidak menghasilkan banyak panas. Dengan kata lain, ketika suhu udara tinggi dan kelembaban tinggi serta angin sepi, aktivitas yang paling nyaman adalah beristirahat atau berbaring. Semakin aktif gerakan tubuh, semakin banyak panas yang

dihasilkan. Panas ini, yang dikenal sebagai tingkat metabolisme, adalah hasil dari proses metabolisme yang mengubah energi kimia dari makanan menjadi energi mekanik yang diperlukan untuk melakukan aktivitas tertentu. Semakin tinggi dan cepat metabolisme, semakin besar kapasitas tubuh untuk memproduksi panas (Sugini, 2014)

Pengukuran metabolisme dalam tubuh dapat diukur menggunakan satuan MET (1 MET = 60 W/m<sup>2</sup> permukaan tubuh). Luas permukaan kulit manusia dewasa rata-rata adalah 1,7 m<sup>2</sup>. Seseorang yang beraktivitas pada tingkat 1 MET dan merasa nyaman secara termal dapat mengalami kehilangan panas hingga 100 W. Untuk mengukur tingkat metabolisme, dilakukan dengan menghitung rata-rata aktivitas yang dilakukan selama satu jam terakhir.

Untuk dapat menghitung kenyamanan termal, standar tingkat metabolisme yang biasa dipakai adalah standar dari ASHRAE-55 (Tabel 2.5) dengan perhitungan MET yang berbeda-beda untuk setiap aktivitas seperti pada Gambar 2.5.

Tabel 2. 5 Standar Tingkat Metabolisme

Tingkat Metabolisme Standar	Keterangan
ASHRAE-55 (2017)	1,0 MET - 1,3 MET

Sumber: Pascal dkk, 2022



Gambar 2. 2 Tingkat metabolisme berbeda untuk berbagai aktivitas  
 Sumber: Thermal Comfort Basics: What is ASHRAE 55? | SimScale Blog

#### 2.1.4 Standar Kenyamanan Termal

Menurut peraturan MENKES NO.261/MENKES/SK/II/1998, kategori temperatur ruangan yang dianggap sehat berkisar antara 18°C hingga 26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan dalam SNI 03-6572-200, terdapat tiga tingkat temperatur yang dianggap nyaman untuk orang Indonesia, sebagaimana tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2. 6 Batas Kenyamanan Termal

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban / RH (%)
<b>Sejuk Nyaman</b> <b>Ambang Atas</b>	20,5°C TE – 22,8°C TE 24°C TE	50% 80%
<b>Nyaman Optimal</b> <b>Ambang Atas</b>	22,8°C TE – 25,8°C TE 28°C TE	70%
<b>Hangat Nyaman</b> <b>Ambang Atas</b>	25,8°C TE – 27,1°C TE 31°C TE	60%

Sumber: SNI 03-6572-2001

Selain standar yang telah diamanatkan secara nasional, terdapat dua standar tambahan dalam menentukan keidealan kondisi termal di suatu ruang atau lingkungan. Kedua standar ini adalah ASHRAE-55 dan ISO 7730. ASHRAE-55 adalah standar yang dikeluarkan oleh American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, yang digunakan sebagai panduan dalam menilai kenyamanan termal untuk desain ruang, khususnya di dalam ruang dengan kondisi yang cenderung stabil dalam jangka waktu tertentu. Sementara standar yang dikeluarkan oleh ISO lebih ideal untuk mengevaluasi kondisi termal dalam berbagai kondisi waktu yang lebih luas dibandingkan dengan ASHRAE-5.

### **2.1.5 Predicted Mean Value (PMV)**

Skala yang digunakan untuk menilai sensasi dingin dan hangat pada tubuh manusia disebut sebagai Predicted Mean Vote (PMV). PMV memberikan indikasi mengenai rentang temperatur yang dirasakan manusia terhadap lingkungan sekitarnya. Nilai PMV dapat mencerminkan sensasi dingin dan hangat dalam tujuh tingkatan, yaitu -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), dan +3 (sangat panas). Penting untuk dicatat bahwa nilai nol tidak menunjukkan kenyamanan, melainkan hanya kondisi termal yang dianggap normal.

ASHRAE 55 menegaskan bahwa kenyamanan termal dapat tercapai apabila tingkat kepuasan penghuni mencapai 80% atau lebih. Sisanya, sekitar 10%, mungkin mengalami ketidakpuasan yang berkaitan dengan ketidaknyamanan di beberapa bagian tubuh. Hal ini diukur dari berbagai faktor yang mempengaruhi PMV, di mana 10% ketidakpuasan berfokus pada ketidaknyamanan lokal atau ketidaknyamanan sebagian tubuh (yang melibatkan faktor-faktor lebih sedikit daripada ketidaknyamanan seluruh tubuh). Sesuai dengan standar ASHRAE 55, rentang termal yang dianjurkan pada skala PMV tujuh poin berkisar antara -0,5 dan 0,5.

Perhitungan indeks PMV tubuh manusia berdasarkan pada prinsip keseimbangan panas, dan dapat diwujudkan melalui penerapan persamaan berikut ini.

$$PMV = 0,303e-0,036M + 0,028x [(M-W) - 3,05 \times 10^{-3} \{5733-6,99 (M-W) - Pa\} - 0,42 [(M-W) - 58,15 - 1,7 \times 10^{-5} M(5867-Pa) - 0,0014 M (34-ta) - 3,96 \times 10^{-8} fcl \{(tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4\} - fclhc(tcl - ta)]$$

$$tcl = 35,7 - 0,028 (M - W) - 0,155 Icl [3,96 \times 10^{-8} fcl \{(tcl + 273)^4 + fclhc (tcl - ta)]$$

$$hc = \max (2,38 (tcl - ta) 0,25 \times 12,1 \sqrt{V})$$

$$fc = 1,0 + 0,2 Icl \text{ untuk } Icl < 0,5 \text{ clo}$$

$$fc = 1,05 + 0,1 Icl \text{ untuk } Icl > 0,5 \text{ clo}$$

Keterangan:

M : Tingkat aktivitas (W/m<sup>2</sup>)

W : Aktivitas luar (W/m<sup>2</sup>), 0 untuk sebagian besar aktivitas

fcl : Rasio permukaan tubuh orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian

tcl : Temperatur permukaan pakaian (°C)

hcl : Konvektif heat transfer dalam (W/m<sup>2</sup> K)

ta : Temperatur udara (°C)

Pa : Kelembaban udara (Pa)

Icl : Nilai insulasi pakaian (clo)

V : Kecepatan aliran udara (m/s)

### 2.1.6 Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

*Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) adalah representasi angka persentase dari tingkat ketidakpuasan terhadap kondisi termal suatu lingkungan. Dalam PPD, semakin tinggi persentasenya, semakin besar ketidaknyamanan yang dirasakan oleh pengguna ruang. Fanger (1982) menyusun perhitungan yang menghubungkan nilai PMV dan PPD dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PPD = 100 - 95 \exp - (10,03353PMV^4 + 0,2179 PMV^2)$$

Standar nilai PPD menurut ASHRAE 55 dapat variatif dari 5% hingga 100%, tergantung pada perhitungan PMV. Rentang kenyamanan ini akan bervariasi tergantung pada lokasi di dalam bangunan. Agar memenuhi standar kenyamanan, tidak boleh ada tempat di dalam ruangan yang memiliki persentase PPD melebihi 20%.

### 2.1.7 CBE Thermal Comfort Tool

*CBE Thermal Comfort Tool* adalah sebuah alat perhitungan yang tersedia secara daring, memberikan akses mudah bagi para teknisi dan peneliti untuk melakukan perhitungan kondisi termal. Alat ini dikembangkan oleh University of California Berkeley dengan metode perhitungan yang disesuaikan sesuai dengan standar dari ASHRAE-55 atau

EN 15251. Program ini memungkinkan pengguna untuk menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data yang dimasukkan. Selain itu, alat ini juga menyediakan visualisasi hasil melalui grafik yang dapat diakses langsung melalui situs web. Dengan adanya dua jenis standar yang digunakan dalam *CBE Thermal Comfort Tool*, pengguna dapat membandingkan beberapa skenario kondisi termal yang berbeda secara bersamaan. Tampilan dari *website CBE Thermal Comfort Tool* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3, dengan kolom yang dapat diisi di sisi kiri website sesuai dengan perhitungan yang ingin digunakan, baik itu PMV ataupun PPD. Kemudian setelah setiap bagian hitungan diisi, website akan menghitungnya secara otomatis dan menampilkan gambar grafik di sisi kanan *website*.



Gambar 2. 3 *CBE Thermal Comfort Tool* for ASHRAE-55

### 2.1.8 Reayasa Kondisi Termal Internal

Pada dasarnya, kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor-faktor klimatis dan fisiologis yang dirasakan oleh penghuni ruangan. Selain itu, kondisi internal dan eksternal ruangan juga mempengaruhi kenyamanan termal. Ketika kondisi termal dalam ruangan menuju tingkat ketidaknyamanan, aktivitas di dalamnya akan terganggu

Dalam konteks internal, jika kondisi termal dalam ruangan tidak nyaman, dapat dilakukan penyesuaian melalui metode mekanis seperti menggunakan AC. Meskipun saat ini tersedia banyak AC dengan mode

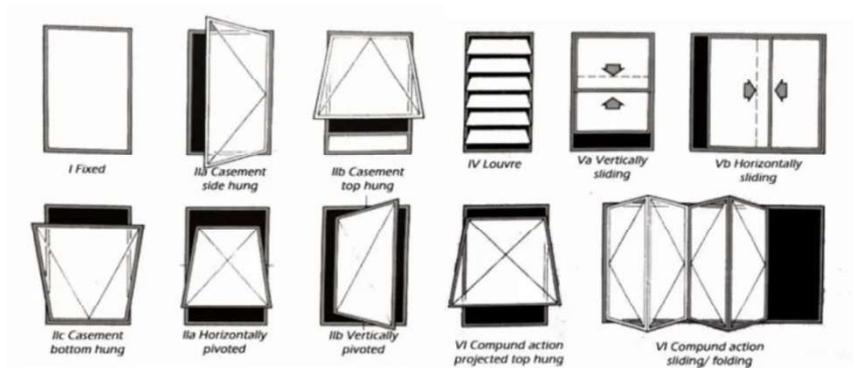
hemat energi, penggunaan jangka panjang akan mengakibatkan biaya operasional yang signifikan dan berdampak pada lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan alami dalam rekayasa kondisi termal lebih diinginkan. Pendekatan ini meliputi pengaturan kondisi lingkungan luar ruangan serta perancangan ventilasi bangunan melalui pendekatan arsitektur.

Penggunaan rekayasa kondisi termal internal secara umum dilakukan secara mekanis dengan menggunakan AC, namun terdapat pendekatan lain yang dilakukan yaitu lewat pendekatan arsitektur. Hal ini dilakukan sejak tahap perancangan atau juga bisa dilakukan dengan mendesain ulang suatu ruang bila dianggap belum ideal. Secara umum hal ini dikenal sebagai desain ramah lingkungan yang mempertimbangkan kondisi bukaan dan ventilasi ideal yang dibutuhkan dalam suatu ruang. Dalam ranah arsitektur sendiri hal ini dikenal sebagai pendekatan desain pasif yang memungkinkan bangunan untuk mendapatkan kenyamanan termal tanpa perlu secara aktif melakukan hal tersebut lewat metode mekanis. Bukaan dan ventilasi pun menjadi faktor penting dalam pertimbangan aplikasi rekayasa kondisi termal secara internal.

a. Bukaan Ruang

Ruang merupakan sebuah wadah aktivitas dan ruang berlindung bagi manusia. Agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, ada beberapa persyaratan yang diperlukan dalam desain ruangan. Salah satunya adalah keberadaan bukaan yang mampu menciptakan kesan terbuka dan mengurangi rasa sesak ketika berada di dalam ruangan tertutup. Selain itu, penting juga untuk menyediakan akses yang mudah antar ruangan serta menjaga kontinuitas visual dengan lingkungan sekitarnya.

Bukaan adalah hal penting dalam suatu ruang agar dapat mencapai fungsinya secara utuh. Tidak hanya itu saja, bukaan yang dirancang dengan baik akan membantu dalam fungsi kenyamanan termal sebagai tempat aliran udara masuk. Bersama dengan ventilasi, bukaan ruang seperti jendela dan pintu adalah salah satu aspek penting yang harus dipertimbangkan secara arsitektural.



Gambar 2. 4 Jenis-Jenis Jendela

Sumber: Beckett, 1994

Bentuk dan tipe bukaan jendela dapat mempengaruhi sudut pergerakan angin yang masuk ke dalam ruang. Hal ini akan mempengaruhi efektivitas aliran udara yang masuk dan keluar. Semakin besar persentase jenis bukaan akan semakin banyak pula aliran udara yang masuk, namun tetap bisa memberikan resiko lain seperti paparan sinar matahari yang terlalu banyak. Oleh karena itu, pemilihan material bukaan pun juga bisa menjadi salah satu faktor pertimbangan saat merancang bukaan.

b. Ventilasi

Ventilasi adalah salah satu penentu kualitas kenyamanan termal dalam suatu ruang. Bila difungsikan dengan baik, suatu ruang bisa mendapatkan kualitas udara yang baik pula. Berpacu kepada Buku Heating, Cooling, dan Lighting karya lachner (2014) mengatakan bahwa, standar ventilasi yang dibutuhkan suatu bangunan harus memiliki bukaan ventilasi dari bukaan permanen seperti pintu, jendela atau jenis lain sesuai dengan minimal bukaan ideal sebesar 10%.

2.1.9 Ruang Kelas

Di dalam konteks pendidikan, ruang kelas adalah salah satu elemen kunci yang wajib ada, mengingat perannya sebagai pusat kegiatan belajar-mengajar. Fungsi utama dari ruang kelas adalah sebagai tempat untuk interaksi langsung antara pengajar dan siswa. Kriteria dan persyaratan tertentu, seperti lokasi yang sesuai, pencahayaan yang memadai, dan

sirkulasi udara yang baik, menjadi aspek penting dalam merancang ruang kelas yang ideal. Meskipun tidak dijabarkan secara rinci, pengadaan ventilasi yang efektif di dalam ruang kelas dianggap sebagai salah satu standar untuk memastikan kualitas ruangan ini, sebagaimana diatur dalam Pasal 9 Ayat 2D mengenai Kesehatan Ruang Kelas dalam Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi tentang Standar Sarana dan Prasarana pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah.

Dalam Permendiknas Nomor 24 Tahun 2007, diuraikan secara terperinci mengenai persyaratan dimensi yang harus dipenuhi oleh gedung-gedung sekolah menengah atas, sebagaimana tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2. 7 Luas Minimum Lantai Bangunan

No	Banyak rombongan belajar	Luas minimum lantai bangunan (m <sup>2</sup> )		
		Bangunan satu lantai	Bangunan dua lantai	Bangunan tiga lantai
1	3	650	-	-
2	4-6	770	840	-
3	7-9	920	990	1020
4	10-12	1080	1150	1180
5	13-15	1220	1310	1360
6	16-18	1350	1450	1500
7	19-21	1530	1630	1680
8	22-24	1700	1830	1890
9	25-27	1870	2000	2060

Sumber: Permendiknas Nomor 24 Tahun 2007

Selain dari itu terdapat pula ukuran standar ruang kelas menurut Undang-undang ini. Ukuran standar tersebut di antaranya adalah kapasitas maksimum dari pengguna ruang kelas adalah 32 orang, dengan luas ruang minimal 2m<sup>2</sup>/ peserta didik. Untuk siswa dengan isi kelas jumlah dari 15 orang, luas minimalnya adalah 30.

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Untuk memperkuat dasar penelitian yang akan dilakukan, dibutuhkan analisis dari penelitian-penelitian terdahulu sebagai dasar perbandingan serta acuan yang dapat membantu Peneliti selama proses pengumpulan dan pengolahan data. Analisis yang dipelajari dari penelitian-penelitian terdahulu ini juga bisa digunakan untuk mengidentifikasi faktor-

faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal serta metode penelitian yang diambil. Berikut ini adalah penjabaran dari penelitian terdahulu yang

Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu

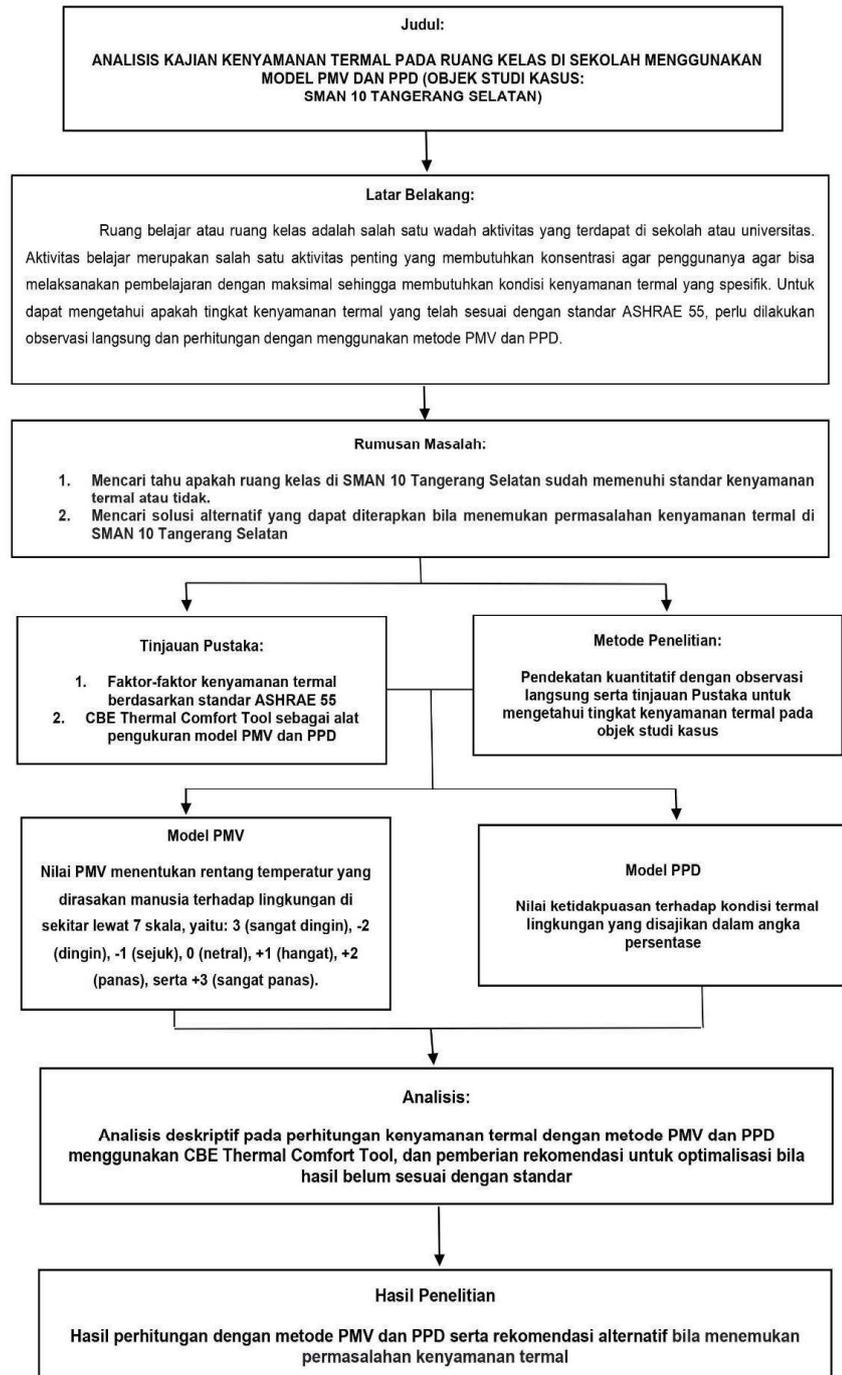
Judul	Metode Penelitian	Tujuan	Hasil Analisis
KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG KULIAH PADA GEDUNG SEKOLAH C LANTAI 2 POLITEKNIK NEGERI SEMARANG (Demi Tria Istiningrum dkk; 2017)	Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif dan evaluatif. Metode deskriptif digunakan dalam penelitian awal untuk menghimpun dan memaparkan data tentang kondisi eksisting. Metode evaluatif digunakan untuk mengevaluasi data penelitian yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan.	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat kenyamanan termal di dalam ruang kelas.	Penelitian ini menggunakan pengukuran secara PMV dan PDD dan lewat hasil pengolahan data dan analisis dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi/cepat kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan maka semakin rendah nilai skala PMV yang didapat yang dapat menunjukkan semakin nyaman suatu ruangan.
Kajian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Rumah Tinggal Kolonial Modern (Studi Kasus: Rumah Tinggal Karya Arsitek Liem Bwan Tjie J.; Dr. Wahidin No. 38 Semarang) (RM. Bambang Setyohadi KP, 2011)	Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan pengamatan pengumpulan data lewat observasi langsung.	Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui metode pemecahan secara <i>climatic design</i> pada objek studi kasus penelitian.	Dapat dibuktikan dengan hasil pengukuran data lapangan dari alat Thermometer HYGrometer HD 8901 untuk memberikan kenyamanan termal secara maksimal dapat diberikan beberapa solusi seperti penambahan vegetasi, pemanfaatan konstruksi atap, serta menambah bukaan pada pada bangunan.
KAJIAN KENYAMANAN TERMAL PADA RUMAH TINGGAL DENGAN MODEL INNERCOURT (Ronim Azizah, 2014)	Penelitian ini menggunakan model kuantitatif rasionalistik bertujuan untuk memverifikasi data dengan objek penelitian yang	Penelitian ini bertujuan untuk membangun konsep desain yang memberi solusi alternatif untuk	Didapatkan hasil dari pengamatan bahwa rumah dengan model <i>inner court</i> dapat membantu menurunkan suhu ruangan
	memiliki tujuan ( <i>purposive sampling</i> )	memecahkan permasalahan kenyamanan termal pada rumah tinggal di perkotaan yang padat dengan cara menguji kenyamanan termal pada rumah tinggal dengan model innercourt	
Penilaian kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan Universitas Bandar Lampung (Rivena Elbes & Ai Siti Munawaroh, 2019)	Menggunakan teknik analisis statistik deskriptif dengan tahapan analisis data yang dilakukan berupa membandingkan hasil pengukuran suhu, kelembaban, kecepatan angin pada pagi hari dan siang hari dengan standar selama lima hari berturut-turut kemudian data yang telah diperoleh ditabulasi, diolah menjadi grafik dan diagram dengan menggunakan software Excel 2016.	Mengetahui tingkat kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan Universitas Bandar Lampung; serta mengetahui aspek-aspek apa saja yang mempengaruhi kenyamanan termal pada bangunan Perpustakaan Universitas Bandar Lampung.	Ditemukan bahwa objek studi kasus dalam penelitian ini telah mencapai hasil yang ideal yaitu kenyamanan termal pada bangunan dengan menyesuaikan hasil lewat faktor-faktor yang mempengaruhi aspek kenyamanan.
Rekayasa Bukaan untuk Kenyamanan Termal pada Ruang Kelas SMA Plus YPHB di Kota Bogor (Adi Wahyutomo dan	Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif dengan penyajian secara deskriptif. Pengukuran	Menganalisis tingkat kenyamanan termal siswa di dalam ruang kelas SMA Plus YPHB di Kota Bogor	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan termal di dalam ruang kelas masih belum nyaman. Hasil didapatkan setelah menghitung factor-faktor yang

telah dilaksanakan.

Sumber : Data kajian pribadi

### 2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran merupakan metode konseptual yang akan dijadikan acuan dalam mempermudah pemahaman mengenai alur penelitian yang dilaksanakan. Kerangka pemikiran tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Diagram Kerangka Pemikiran Penelitian  
Sumber: Penulis, 2023

## 2.4 Sintetis

Berdasarkan hasil kajian dari tinjauan pustaka yang telah dilakukan untuk menjadi dasar penelitian, penulis akan menjabarkan sintesis yang mengintegrasikan hasil penjabaran tersebut dalam satu alur pembahasan yang jelas dengan tujuan penelitian sebagai benang merah utama sebagaimana dengan yang ada pada tabel berikut.

Tabel 2. 9 Sintesis

Sintesis	Teori/ Standar	Metode
Faktor-faktor Kenyamanan Termal	<p>Berdasarkan standar dari ASHRAE 55, terdapat 6 faktor utama yang mempengaruhi kenyamanan termal. Enam faktor serta standar nilai hitungan masing-masing adalah sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperatur Udara (19,6°C – 27,9 °C)</li> <li>2. Kelembaban Udara (40% – 65%)</li> <li>3. Kecepatan Aliran Udara (0,2 m /s – 0,8 m /s)</li> <li>4. Temperatur Radian</li> <li>5. Pakaian (<math>n \leq 0,5</math> clo untuk musim panas)</li> <li>6. Tingkat Metabolisme (1 MET - 1,3 MET)</li> </ol>	Pengukuran dilakukan dengan pengukuran langsung menggunakan alat <i>Multifunction Environment Meter</i>
Model perhitungan PMV ( <i>Predicted Mean Value</i> )	Mengacu pada standar ASHRAE 55, batas termal yang direkomendasikan pada skala 7 poin PMV berkisar antara -0,5 dan 0,5.	CBE Thermal Comfort Tool
Model perhitungan PPD ( <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> )	Nilai standar dari PPD berdasarkan ASHRAE 55 dapat berkisar dari 5% hingga 100%, dengan tidak boleh ada tempat yang dihuni dalam ruang mencapai lebih dari 20% PPD.	

Sumber : Data kajian pribadi