

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah salah satu aspek penting dalam kualitas lingkungan interior dan eksterior. Hal ini merujuk pada tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh individu dalam hubungannya dengan suhu, kelembaban, kecepatan udara, dan radiasi panas atau dingin di sekitarnya. Kenyamanan termal juga merujuk pada kondisi yang menyatakan kepuasan terhadap lingkungan termal sekitar. Pada dasarnya, pemahaman mendalam tentang kenyamanan termal menjadi krusial dalam perencanaan dan desain bangunan, terutama dalam iklim yang berbeda-beda di seluruh dunia (Pereira, 2020). Kenyamanan termal ini merupakan faktor penting dalam penelitian arsitektur dan desain lingkungan, karena berpengaruh langsung terhadap produktivitas dan kesejahteraan penghuni. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi termal. Selain itu, karakteristik individu seperti pakaian dan tingkat aktivitas juga mempengaruhi persepsi kenyamanan termal (Law, 2013).

Dalam tinjauan literatur mengenai kenyamanan termal, ada dua pendekatan utama terhadap merasakan kenyamanan termal, yaitu pendekatan rasional dan adaptif. Pendekatan rasional berfokus pada pertukaran panas antara tubuh manusia dan lingkungannya, sementara pendekatan adaptif mempertimbangkan bagaimana manusia secara aktif menyesuaikan diri dengan lingkungan mereka. Sebuah studi oleh Tim Law (2013) menunjukkan bahwa biaya energi untuk ruang kantor tidak signifikan dibandingkan dengan biaya tenaga kerja. Dalam konteks ini, kenyamanan termal menjadi penting karena dapat mempengaruhi produktivitas pekerja. Studi ini menunjukkan bahwa bangunan kantor rata-rata di Singapura menggunakan 49% energinya untuk pendingin udara dan 14% lagi untuk ventilasi mekanis. Studi lain oleh Pedro Filipe da Conceição Pereira dan rekan-rekan (2020) menunjukkan bahwa model rata-rata yang diprediksi (PMV) adalah model yang paling banyak digunakan di seluruh dunia untuk menilai kenyamanan termal di lingkungan dalam

ruangan. Literatur ini memberikan studi kasus mengenai lingkungan rumah sakit yang baik bagi profesional dan pasien sangat penting, dan lebih banyak penelitian diperlukan dalam hal ini.

Berdasarkan tinjauan literatur, konsep kenyamanan termal pertama kali diajukan oleh Fanger (1970), yang mengembangkan model kenyamanan termal yang dikenal sebagai "indeks suhu kulit." Model ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan udara, aktivitas fisik, dan pakaian yang digunakan oleh individu. Indeks suhu kulit ini memberikan pandangan yang lebih holistik tentang kenyamanan termal daripada hanya mempertimbangkan suhu udara saja. Selain itu, adaptasi termal juga menjadi faktor penting dalam pemahaman kenyamanan termal. Individu memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap perubahan suhu dan kondisi lingkungan. Ini tergantung pada berbagai faktor seperti usia, jenis kelamin, tingkat kebugaran fisik, dan pengalaman sebelumnya. Penelitian oleh de Dear dan Brager (1998) menggarisbawahi pentingnya adaptasi termal dalam pengalaman kenyamanan termal, dan mereka memperkenalkan konsep "zona kenyamanan" yang menunjukkan bahwa individu dapat merasa nyaman dalam rentang tertentu dalam kondisi suhu dan kelembaban tertentu.

Faktor-faktor psikologis juga memengaruhi persepsi kenyamanan termal. Studi oleh Nikolopoulou dan Steemers (2003) mengemukakan bahwa aspek-aspek seperti kontrol individu terhadap lingkungan termal, preferensi pribadi, dan persepsi terhadap keamanan juga berperan dalam penilaian kenyamanan termal. Saat ini, dengan perubahan iklim global yang semakin terasa, penelitian tentang kenyamanan termal juga berkembang pesat dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Penelitian oleh Givoni (1998) mencatat bahwa desain bangunan yang memperhatikan prinsip-prinsip kenyamanan termal dapat mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan dan pemanasan, sehingga berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca.

Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pengertian kenyamanan termal secara singkat merujuk pada tingkat kenyamanan yang dirasakan individu terkait kondisi termal lingkungan sekitarnya, seperti suhu,

kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi panas atau dingin. Kenyamanan termal dapat tercapai dengan memperhatikan berbagai faktor. Pertama, faktor lingkungan seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi termal perlu diatur pada tingkat yang nyaman bagi penghuni. Hal ini dapat dilakukan melalui sistem pendingin udara, ventilasi, pemanas, serta desain bangunan yang mempertimbangkan aspek-aspek tersebut. Kedua, karakteristik individu seperti pakaian yang dikenakan dan tingkat aktivitas penghuni juga harus diperhatikan. Selain itu, penting untuk memberikan kontrol individu atas lingkungan termal di sekitarnya.

Selanjutnya, pendekatan adaptif dapat diterapkan dengan memungkinkan penghuni untuk beradaptasi secara alami dengan kondisi lingkungan termal melalui desain bangunan yang fleksibel dan optimalisasi ventilasi alami. Terakhir, prinsip-prinsip keberlanjutan perlu diintegrasikan dengan merancang bangunan yang mempertimbangkan aspek kenyamanan termal untuk mengurangi kebutuhan energi pendinginan dan pemanasan, serta memanfaatkan sumber energi terbarukan dan material ramah lingkungan.

Dalam konteks penelitian ini, pemahaman yang komprehensif tentang kenyamanan termal akan menjadi dasar untuk mengevaluasi dan merancang sistem yang efisien dan ramah lingkungan. Tinjauan literatur ini memberikan landasan yang kuat untuk menyelidiki aspek-aspek yang lebih mendalam dalam penelitian ini, seperti pengaruh adaptasi termal terhadap persepsi kenyamanan termal dan upaya-upaya untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip kenyamanan termal dalam desain bangunan yang berkelanjutan.

2.2 Faktor Kenyamanan Termal

Indeks Kenyamanan Termal adalah ukuran yang digunakan untuk menilai sejauh mana kondisi lingkungan termal memenuhi kenyamanan manusia. Indeks ini mencakup berbagai faktor seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Salah satu indeks yang sering digunakan adalah Indeks Kenyamanan Termal Standar Efektif (SET), yang

menggabungkan semua faktor ini untuk memberikan gambaran tentang persepsi manusia terhadap kenyamanan termal (Rendy Kurnia, 2010).

SET mengukur suhu setara di mana seorang individu akan merasa sama nyamannya di lingkungan dengan kelembaban dan kecepatan angin yang konstan. Indeks ini sangat berguna dalam penelitian tentang efek perubahan iklim pada kenyamanan manusia, serta dalam desain bangunan dan ruang publik untuk memastikan kenyamanan penghuninya (Aprihatmoko, 2014).

Menurut ASHRAE-55 2017, kondisi termal yang dianggap nyaman berada dalam rentang PMV antara -0,5 hingga +0,5. Standar ini juga menetapkan rentang suhu operatif yang nyaman untuk musim panas berkisar antara 23°C hingga 27°C dengan kelembaban relatif 30% hingga 60%. Sementara untuk musim dingin, rentang suhu operatif nyaman adalah 20°C hingga 24°C dengan kelembaban relatif hingga 60%. Suhu operatif merupakan kombinasi dari suhu udara dan suhu radiasi rata-rata yang diterima oleh tubuh manusia. Rentang ini dianggap dapat memberikan kenyamanan termal yang optimal bagi sebagian besar orang dengan pakaian tipikal (ASHRAE, 2017). Namun, perlu diingat bahwa persepsi kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti aktivitas fisik, pakaian, dan adaptasi termal. Studi oleh Feriadi dan Wong (2004) menemukan bahwa orang-orang di daerah tropis dapat merasa nyaman pada suhu operatif yang lebih tinggi, mencapai 28,5°C dengan kelembaban relatif 60%. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan konteks iklim dan adaptasi termal dalam menentukan standar kenyamanan termal.

Selain suhu dan kelembaban, kecepatan angin juga berpengaruh pada kenyamanan termal. Standar ISO 7730:2005 merekomendasikan kecepatan angin di bawah 0,2 m/s untuk memastikan kenyamanan termal (ISO, 2005). Kecepatan angin yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan karena peningkatan perpindahan panas konveksi dari tubuh. Namun, kecepatan angin yang rendah juga penting untuk mencegah stagnasi udara dan akumulasi polutan di dalam ruangan. Studi oleh Schiavon dan Melikov (2008) menunjukkan bahwa preferensi kecepatan angin dapat bervariasi tergantung

pada suhu operatif. Pada suhu operatif yang lebih tinggi, orang cenderung lebih menyukai kecepatan angin yang lebih tinggi untuk meningkatkan penguapan dan perpindahan panas dari tubuh.

a. Temperatur Udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor kunci dalam menentukan kenyamanan termal manusia. Menurut ASHRAE *Standard 55-2017*, rentang suhu operatif nyaman untuk musim panas adalah 23°C hingga 27°C dengan kelembaban relatif 30% hingga 60%. Sementara untuk musim dingin, rentang suhu operatif nyaman adalah 20°C hingga 24°C dengan kelembaban relatif hingga 60%. Namun, standar ini dikembangkan terutama untuk iklim sub-tropis, sehingga perlu disesuaikan dengan kondisi iklim dan budaya di wilayah lain.

Dalam konteks iklim tropis lembab Indonesia, beberapa penelitian menunjukkan bahwa rentang suhu nyaman sedikit berbeda. Buku Fisika Bangunan oleh Satwiko (2009) menyebutkan bahwa orang Indonesia cenderung merasa nyaman pada suhu udara sekitar 25°C hingga 28°C untuk musim panas. Hal ini disebabkan oleh adaptasi termal dan preferensi termal masyarakat Indonesia yang sudah terbiasa dengan iklim tropis.

Studi lapangan oleh Sumardianto dkk. (2016) pada rumah tinggal sederhana di daerah tropis lembab menemukan bahwa pada musim kemarau, suhu udara dan temperatur radiasi rata-rata sering melebihi batas atas kenyamanan menurut ASHRAE. Sementara pada musim penghujan, kelembaban udara yang tinggi justru menjadi faktor yang menyebabkan ketidaknyamanan.

Penelitian lain oleh Setyowati dkk. (2017) pada ruang kelas berpenghawaan buatan di kampus IPB Dramaga menggunakan standar ASHRAE 55-2013 sebagai acuan. Mereka menemukan bahwa meskipun suhu udara telah memenuhi standar, faktor kelembaban udara yang terlalu rendah dan preferensi individu penghuni dapat menyebabkan ketidaknyamanan.

b. Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara merupakan faktor penting dalam menentukan kenyamanan termal dan efektivitas penghawaan alami dalam suatu bangunan. Standar ASHRAE 55-2017 menyatakan bahwa kecepatan udara yang direkomendasikan untuk ruangan ber-AC adalah kurang dari 0,2 m/s. Sementara itu, SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung menganjurkan kecepatan udara maksimum 0,25 m/s untuk ruangan tanpa penghawaan mekanis (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2001). Satwiko (2009) menjelaskan bahwa kecepatan udara yang terlalu tinggi dapat menimbulkan ketidaknyamanan termal dan kesehatan bagi penghuni bangunan.

Kecepatan udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan kurangnya pergerakan udara yang diperlukan untuk penguapan keringat, sehingga tubuh merasa lebih panas dan lembab (Satwiko, 2009). Sebaliknya, kecepatan udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal seperti mata perih, hidung tersumbat, dan iritasi pada kulit (Arundel et al., 1986; Satwiko, 2009). Dalam kasus penghawaan alami, kecepatan udara yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan masuknya polutan udara dari luar bangunan, seperti debu dan asap (Satwiko, 2009).

Satwiko (2009) menekankan pentingnya pengendalian kecepatan udara yang tepat untuk menciptakan kenyamanan termal dan kesehatan bagi penghuni bangunan. Dalam konteks penghawaan alami, pengendalian kecepatan udara dapat dilakukan dengan merancang bukaan ventilasi yang tepat, mengatur posisi dan ukuran bukaan, serta memanfaatkan elemen bangunan seperti sun shading dan vegetasi untuk mengontrol aliran udara (Satwiko, 2009).

Selain itu, kecepatan udara juga berperan penting dalam efektivitas pendinginan evaporatif pada penghawaan alami. Kecepatan udara yang cukup diperlukan untuk meningkatkan penguapan keringat dari tubuh, sehingga memberikan efek pendinginan (Satwiko, 2009). Namun,

kecepatan udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pendinginan yang berlebihan dan ketidaknyamanan termal (ASHRAE, 2017; Satwiko, 2009).

c. Kelembaban Udara

Kelembaban udara merupakan salah satu faktor penting dalam mencapai kenyamanan termal dan penghawaan alami yang optimal. Standar ASHRAE 55-2017 menyatakan bahwa kelembaban udara relatif (RH) yang direkomendasikan untuk ruangan ber-AC adalah antara 30% hingga 60%. Sementara itu, SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung menganjurkan kisaran RH yang lebih sempit, yaitu 40% hingga 50% (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2001). Satwiko (2009) menjelaskan bahwa kisaran kelembaban yang direkomendasikan oleh ASHRAE 55 dan SNI ini bertujuan untuk mencapai kenyamanan termal dan kesehatan bagi penghuni bangunan.

Kelembaban udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan masalah seperti iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan, serta meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan (Arundel et al., 1986; Reinikainen & Jaakkola, 2003). Selain itu, kelembaban udara yang rendah juga dapat mengurangi kenyamanan termal karena meningkatkan evaporasi keringat dari tubuh, sehingga tubuh merasa lebih dingin (Fang et al., 2004; Satwiko, 2009). Di sisi lain, kelembaban yang terlalu tinggi dapat mendorong pertumbuhan jamur dan bakteri, yang dapat memicu masalah kesehatan seperti asma, alergi, dan infeksi paru-paru (*World Health Organization* [WHO], 2009). Kelembaban yang tinggi juga dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal karena menghambat penguapan keringat dari tubuh, sehingga tubuh merasa lebih panas dan lembab (Toftum et al., 1998; Satwiko, 2009).

Dalam konteks penghawaan alami, kelembaban udara yang tidak terkontrol dapat mengurangi efektivitas ventilasi alami dalam menciptakan kenyamanan termal. Udara luar dengan kelembaban tinggi yang masuk ke dalam bangunan melalui ventilasi alami dapat meningkatkan beban

pendinginan dan menyebabkan ketidaknyamanan termal (Satwiko, 2009). Sebaliknya, udara luar dengan kelembaban rendah yang masuk ke dalam bangunan dapat menyebabkan kekeringan yang berlebihan dan meningkatkan risiko masalah kesehatan yang terkait dengan kelembaban rendah (Arundel et al., 1986; Satwiko, 2009).

Untuk mempertahankan kelembaban udara pada tingkat yang nyaman, diperlukan sistem pengendalian kelembaban seperti humidifier atau dehumidifier. Satwiko (2009) menekankan pentingnya pemilihan dan pengoperasian sistem pengendalian kelembaban yang tepat untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan nyaman bagi penghuni bangunan. Sistem ini juga harus diintegrasikan dengan sistem penghawaan alami dan pendinginan ruangan untuk memastikan efisiensi energi dan kinerja optimal. Dalam perancangan bangunan yang memanfaatkan penghawaan alami, pertimbangan kelembaban udara menjadi sangat penting untuk memastikan kenyamanan termal dan kesehatan penghuni.

d. Temperatur Radian

Temperatur radian merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan termal dan efektivitas penghawaan alami dalam suatu bangunan. Temperatur radian mengacu pada temperatur rata-rata dari permukaan benda padat di sekitar suatu ruangan, seperti dinding, lantai, langit-langit, dan perabotan (Satwiko, 2009). Temperatur radian ini berkontribusi terhadap perpindahan panas melalui radiasi antara tubuh manusia dan lingkungan sekitarnya.

Satwiko (2009) menjelaskan bahwa temperatur radian yang lebih tinggi atau lebih rendah dari temperatur udara dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal. Jika temperatur radian lebih tinggi dari temperatur udara, tubuh manusia akan menerima lebih banyak radiasi panas dari lingkungan sekitarnya, sehingga merasa lebih panas dan tidak nyaman. Sebaliknya, jika temperatur radian lebih rendah dari temperatur udara, tubuh manusia akan melepaskan lebih banyak panas melalui radiasi, sehingga merasa lebih dingin dan tidak nyaman.

Dalam konteks penghawaan alami, temperatur radian memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas pendinginan melalui ventilasi alami. Jika temperatur radian tinggi, aliran udara yang masuk ke dalam bangunan melalui ventilasi alami akan mengalami pemanasan dari permukaan benda padat di sekitarnya, sehingga mengurangi efek pendinginan (Satwiko, 2009). Sebaliknya, jika temperatur radian rendah, aliran udara yang masuk ke dalam bangunan akan mengalami pendinginan, sehingga meningkatkan efek pendinginan.

Untuk mencapai kenyamanan termal dan optimalisasi penghawaan alami, penting untuk mempertimbangkan temperatur radian dan memastikan bahwa temperatur radian berada dalam rentang yang nyaman dan sesuai dengan temperatur udara. Satwiko (2009) menyarankan beberapa strategi untuk mengendalikan temperatur radian, seperti:

- a. Insulasi termal pada dinding, lantai, dan atap untuk mencegah perpindahan panas berlebihan dari luar ke dalam bangunan.
- b. Penggunaan material dengan massa termal yang tinggi, seperti beton atau batu bata, pada kondisi wilayah yang dingin untuk menyerap dan melepaskan panas secara perlahan, sehingga mengurangi fluktuasi temperatur radian.
- c. Pemanfaatan elemen pembayangan, seperti sun shading atau vegetasi, untuk mengurangi radiasi matahari langsung yang masuk ke dalam bangunan.
- d. Penggunaan permukaan berwarna terang atau reflektif untuk memantulkan radiasi matahari dan menurunkan temperatur radian.

Dalam perancangan bangunan yang memanfaatkan penghawaan alami, pertimbangan temperatur radian menjadi sangat penting untuk memastikan kenyamanan termal dan kesehatan penghuni, serta efisiensi energi bangunan (Satwiko, 2009). Pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi temperatur radian, seperti orientasi bangunan, material bangunan, dan elemen pembayangan, sangat penting untuk optimalisasi kenyamanan termal dan penghawaan alami.

e. Insulan Pakaian

Kelembaban udara merupakan salah satu faktor penting dalam mencapai kenyamanan termal dan penghawaan alami yang optimal. Standar ASHRAE 55-2017 menyatakan bahwa kelembaban udara relatif (RH) yang direkomendasikan untuk ruangan ber-AC adalah antara 30% hingga 60% (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* [ASHRAE], 2017). Insulasi pakaian merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan termal manusia. Insulasi pakaian mengacu pada kemampuan pakaian untuk mengisolasi tubuh dari lingkungan sekitarnya, sehingga mengurangi perpindahan panas antara tubuh dan lingkungan (Satwiko, 2009). Semakin tinggi insulasi pakaian, semakin besar hambatan terhadap perpindahan panas, sehingga tubuh merasa lebih hangat.

Satwiko (2009) menjelaskan bahwa insulasi pakaian dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis bahan, ketebalan, warna, dan desain pakaian. Pakaian yang terbuat dari bahan alami seperti katun atau wol cenderung memiliki insulasi yang lebih baik dibandingkan dengan bahan sintetis seperti poliester. Pakaian yang lebih tebal dan berlapis-lapis juga memiliki insulasi yang lebih tinggi. Warna pakaian yang gelap cenderung menyerap lebih banyak panas dari radiasi matahari, sehingga mengurangi insulasi pakaian.

Dalam konteks kenyamanan termal, insulasi pakaian berperan penting dalam menjaga keseimbangan panas tubuh manusia. Ketika suhu lingkungan rendah, tubuh memerlukan insulasi pakaian yang lebih tinggi untuk mencegah kehilangan panas berlebihan. Sebaliknya, ketika suhu lingkungan tinggi, tubuh memerlukan insulasi pakaian yang lebih rendah untuk memfasilitasi pelepasan panas melalui penguapan keringat (ASHRAE, 2017).

Clo (clothing insulation) adalah satuan yang digunakan untuk mengukur insulasi termal yang disediakan oleh pakaian yang dikenakan seseorang. Satu clo setara dengan insulasi yang diberikan oleh pakaian yang akan membuat seseorang merasa nyaman pada suhu 21°C, dengan

kelembaban relatif 50%, angin diam, dan berada dalam kondisi metabolisme sedang (Satwiko, 2009).

Tabel 2. 1 *Nilai Insulan Pakaian*

Pakaian	Nilai Clo
Telanjang	0,0
Celana pendek ringan	0,1
Kemeja ringan	0,25
Celana panjang ringan	0,25
Kaus kaki dan sepatu	0,03
Pakaian dalam	0,04
Kaus oblong	0,25
Celana panjang katun	0,25
Sweater katun	0,36
Jas ringan	0,36
Mantel katun tebal	1,0
Mantel musim dingin	1,5

Sumber: ASHRAE-55 (2017)

Nilai clo menunjukkan seberapa besar hambatan termal yang diberikan oleh pakaian terhadap perpindahan panas dari tubuh ke lingkungan sekitarnya. Semakin tinggi nilai clo, semakin besar insulasi yang diberikan oleh pakaian, sehingga tubuh akan merasa lebih hangat (ASHRAE, 2017). Misalnya, dalam iklim panas dan lembab, nilai clo yang rendah (kurang dari 0,5 clo) akan lebih nyaman karena memfasilitasi pelepasan panas tubuh melalui penguapan keringat. Sebaliknya, dalam iklim dingin, nilai clo yang lebih tinggi (lebih dari 1,0 clo) akan lebih nyaman untuk menjaga tubuh tetap hangat (ASHRAE, 2017).

f. Tingkat Metabolisme (Aktivitas Fisik)

Tingkat metabolisme atau laju metabolisme basal (BMR) adalah jumlah energi yang digunakan oleh tubuh dalam kondisi istirahat untuk mempertahankan fungsi-fungsi dasar seperti pernapasan, sirkulasi darah, dan pengaturan suhu tubuh. Tingkat metabolisme atau aktivitas fisik merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan termal manusia. Aktivitas fisik menghasilkan panas metabolik yang dihasilkan oleh tubuh manusia selama melakukan kegiatan tertentu (Satwiko, 2009). Panas metabolik ini berkontribusi terhadap keseimbangan termal tubuh dan mempengaruhi persepsi kenyamanan termal individu. Semakin berat aktivitas fisik yang dilakukan, semakin tinggi pula panas metabolik yang dihasilkan, sehingga toleransi terhadap suhu lingkungan yang lebih hangat akan meningkat (Fanger, 1970). Hal ini sejalan dengan

- hasil ASHRAE-55 (2017) yang menyatakan bahwa tingkat metabolisme manusia berkisar antara 0,8 met untuk istirahat (duduk santai) hingga lebih dari 6,0 met untuk aktivitas fisik berat (seperti berlari).

Dalam kondisi metabolisme rendah, seperti saat duduk atau beristirahat, tubuh manusia menghasilkan panas dalam jumlah yang relatif kecil (Satwiko, 2009). Oleh karena itu, dalam situasi ini, diperlukan insulasi pakaian yang lebih tinggi atau suhu udara yang lebih hangat untuk mencegah tubuh kehilangan panas secara berlebihan. Sebaliknya, dalam kondisi metabolisme tinggi, seperti saat bekerja berat atau berolahraga, tubuh manusia menghasilkan panas dalam jumlah yang lebih besar (Satwiko, 2009). Dalam situasi ini, diperlukan insulasi pakaian yang lebih rendah atau suhu udara yang lebih dingin untuk memfasilitasi pelepasan panas tubuh melalui penguapan keringat.

Dalam perancangan bangunan dan sistem penghawaan, tingkat metabolisme menjadi salah satu pertimbangan penting. Satwiko (2009) menyarankan untuk memperkirakan tingkat metabolisme rata-rata penghuni bangunan berdasarkan jenis aktivitas yang dilakukan. Misalnya, dalam gedung perkantoran, tingkat metabolisme rata-rata dapat diasumsikan

sebagai aktivitas ringan (1,0 - 1,3 met), sedangkan dalam gedung olahraga, tingkat metabolisme rata-rata dapat diasumsikan sebagai aktivitas berat (2,0 - 3,0 met) (ASHRAE, 2017).

Tabel 2. 2 Nilai Metabolisme

Aktivitas	Nilai Met
Tidur	0,7
Duduk tenang	1,0
Aktivitas ringan (kantor, sekolah, rumah)	1,2
Berdiri ringan (mengajar, berdiri santai)	1,4
Aktivitas sedang (toko, pabrik ringan)	1,7
Berjalan kecepatan 3 km/jam	2,0
Aktivitas berat (konstruksi, pertanian)	2,4
Olahraga ringan	3,0
Olahraga berat	4,0

Sumber: ASHRAE-55 (2017)

Tingkat metabolisme yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan termal dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan masalah kesehatan. Dalam jurnal *public health* Kovats dan Hajat (2008) menyatakan metabolisme tinggi dalam lingkungan panas dapat menyebabkan kelelahan, dehidrasi, dan bahkan penyakit terkait panas seperti *heat stroke*. Sebaliknya, metabolisme rendah dalam lingkungan dingin dapat menyebabkan hipotermia dan masalah kesehatan lainnya.

2.3 Indeks Kenyamanan Termal

Indeks kenyamanan termal merupakan salah satu aspek penting dalam merancang lingkungan binaan yang nyaman dan sehat bagi manusia. Konsep ini didasarkan pada prinsip keseimbangan panas tubuh manusia, di mana tubuh manusia harus mempertahankan suhu inti yang relatif konstan sekitar 37°C

(Fanger, 1970). Ketika tubuh menerima atau melepaskan panas berlebihan, akan terjadi kondisi tidak nyaman yang dapat mengganggu kinerja dan kesehatan.

Terdapat dua model utama yang digunakan untuk mengevaluasi kenyamanan termal, yaitu model *Predicted Mean Vote (PMV)* dan model *Adaptive Thermal Comfort (ATC)*. Model PMV, yang dikembangkan oleh P.O. Fanger, merupakan model yang bersifat statis dan digunakan untuk lingkungan termal yang terkendali, seperti gedung perkantoran dan rumah tinggal dengan sistem pendingin atau pemanas ruangan (Fanger, 1970). Model ini mempertimbangkan empat faktor lingkungan (suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi termal) serta dua faktor individu (metabolisme dan insulasi pakaian) untuk memprediksi tingkat kenyamanan termal berdasarkan skala sensasi termal tujuh poin.

Di sisi lain, model ATC dikembangkan untuk lingkungan termal yang tidak terkendali, seperti bangunan alami atau bangunan dengan ventilasi alami (de Dear & Brager, 1998). Model ini berasumsi bahwa manusia memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap kondisi termal lingkungan melalui penyesuaian perilaku, pakaian, dan ekspektasi. Model ATC mempertimbangkan faktor iklim dan memungkinkan ambang batas kenyamanan termal yang lebih luas dibandingkan model PMV.

Selain kedua model utama tersebut, terdapat juga indeks kenyamanan termal lainnya seperti *Effective Temperature (ET)*, *Standard Effective Temperature (SET)*, *Physiological Equivalent Temperature (PET)*, dan *Universal Thermal Climate Index (UTCI)* (Blazejczyk et al., 2012). Indeks-indeks ini dikembangkan dengan mempertimbangkan faktor-faktor spesifik seperti aktivitas fisik, jenis pakaian, dan kondisi lingkungan tertentu. Rekayasa desain pasif merupakan pendekatan dalam arsitektur yang memanfaatkan kondisi iklim dan unsur alam untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan efisien dalam penggunaan energi.

2.3.1. PMV (*Predicted Mean Vote*)

Predicted Mean Vote (PMV) merupakan model yang dikembangkan oleh P.O. Fanger pada tahun 1970 untuk mengevaluasi kenyamanan termal dalam lingkungan binaan yang terkondisi (Fanger, 1970). PMV menjadi salah satu model utama yang digunakan secara luas dalam merancang sistem pendingin ruangan dan ventilasi untuk menciptakan lingkungan termal yang nyaman bagi penghuni. Model ini didasarkan pada prinsip keseimbangan panas tubuh manusia dan mengintegrasikan faktor-faktor lingkungan seperti suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi termal, serta faktor-faktor individu seperti metabolisme dan insulasi pakaian.

PMV memprediksi rata-rata penilaian subjektif tentang kenyamanan termal dari sekelompok orang dalam lingkungan termal tertentu menggunakan skala sensasi termal tujuh poin, mulai dari -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), dan +3 (sangat panas), dengan nilai 0 mewakili kondisi netral atau nyaman secara termal (Fanger, 1970). Terkait dengan PMV, terdapat juga konsep *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* yang mewakili persentase orang yang merasa tidak puas dengan lingkungan termal tertentu. Namun, pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang *Predicted Mean Vote (PMV)* dalam konteks iklim tropis Indonesia telah mengungkapkan beberapa temuan yang lebih menyesuaikan penerapan langsung standar internasional seperti ASHRAE 55. Karyono (2000) dalam studinya di Jakarta menemukan bahwa suhu nyaman bagi penduduk Indonesia sekitar 2,5°C lebih tinggi dari prediksi model PMV standar, menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara standar internasional dan preferensi lokal. Temuan ini diperkuat oleh Feriadi dan Wong (2004) yang meneliti rumah-rumah berventilasi alami di Indonesia, serta Alfata et al. (2015) yang fokus pada apartemen di Surabaya. Kedua studi tersebut konsisten menunjukkan bahwa model PMV cenderung memprediksi sensasi yang lebih hangat dibandingkan yang sebenarnya dirasakan oleh penghuni lokal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan ini meliputi adaptasi termal jangka panjang terhadap iklim tropis, ekspektasi kenyamanan yang berbeda, dan preferensi budaya. Damiati et al. (2016) dalam studi mereka di beberapa negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia, menegaskan pentingnya mempertimbangkan adaptasi termal dalam menilai kenyamanan di iklim tropis. Sementara itu, Hamzah et al. (2018) dalam penelitian mereka di sekolah menengah di Makassar, menggarisbawahi bahwa standar internasional mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kebutuhan termal spesifik populasi Indonesia. Hasil temuan ini mengarah pada kesimpulan bahwa ada kebutuhan untuk mengembangkan atau memodifikasi model kenyamanan termal yang lebih sesuai untuk konteks iklim tropis Indonesia. Model yang direvisi ini harus mempertimbangkan faktor-faktor lokal seperti adaptasi iklim, budaya, dan preferensi termal yang spesifik, sehingga dapat memberikan prediksi yang lebih akurat tentang kenyamanan termal di lingkungan tropis Indonesia. Pengembangan model semacam ini tidak hanya akan meningkatkan kenyamanan penghuni, tetapi juga berpotensi mengoptimalkan penggunaan energi dalam bangunan dengan lebih baik menyesuaikan sistem pendinginan dengan kebutuhan nyata pengguna.

2.3.2. PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) merupakan konsep yang berkaitan erat dengan model *Predicted Mean Vote (PMV)* dalam mengevaluasi kenyamanan termal (Fanger, 1970). PPD mewakili persentase orang yang merasa tidak puas dengan lingkungan termal tertentu. Konsep ini didasarkan pada fakta bahwa bahkan dalam kondisi termal yang dianggap netral ($PMV = 0$), masih ada sekitar 5% orang yang merasa tidak puas dengan lingkungan termal tersebut.

PPD merupakan fungsi dari nilai PMV, di mana semakin tinggi nilai absolut PMV, semakin besar persentase orang yang merasa tidak nyaman secara termal (Fanger, 1970). Nilai PPD dihitung menggunakan

persamaan empiris yang dikembangkan berdasarkan percobaan dengan subjek Eropa. Misalnya, jika $PMV = +1$ (sedikit hangat), maka sekitar 26% orang akan merasa tidak nyaman dengan lingkungan termal tersebut.

ASHRAE-55 memiliki standar kenyamanan termal variatif mulai dari 5% hingga 100%. Namun, berdasarkan kenyamanan nilai PPD kondisi kenyamanan termal di atas 20% kurang dapat diterima karena presentase orang yang merasa tidak nyaman semakin meningkat, sehingga kenyamanan termal berdasarkan poin PPD memiliki rentang presentase kenyamanan berkisar 10% sampai 20% (ASHRAE, 2017).

2.4 Rekayasa Desain Pendingin Pasif

Rekayasa desain pasif merupakan pendekatan dalam arsitektur yang memanfaatkan kondisi iklim dan unsur alam untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan efisien dalam penggunaan energi. Desain pasif dikategorikan baik akan membuat sebuah bangunan tidak bergantung pada mesin atau alat untuk mengatur suhu ruangan seperti air conditioner, water heater, bahkan kipas angin. Bangunan dengan desain pasif akan memaksimalkan energi-energi alam untuk menyejukkan dan menghangatkan ruangan (Izza Denna Syahputra, 2024).

Desain fasad yang inovatif, termasuk penggunaan *shading devices*, *overhang*, dan *louver*, memainkan peran penting dalam mengontrol paparan bangunan terhadap radiasi matahari. Implementasi yang tepat dari elemen-elemen ini dapat mengurangi beban pendinginan hingga 23-89%, tergantung pada iklim dan orientasi (Bellia, De Falco, dan Minichiello, 2013). Strategi ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan termal tetapi juga memungkinkan pemanfaatan pencahayaan alami yang optimal, lebih lanjut mengurangi ketergantungan pada sistem pencahayaan buatan.

Ventilasi alami, ketika diintegrasikan dengan baik dalam desain bangunan, dapat secara substansial meningkatkan kenyamanan termal tanpa bergantung pada sistem mekanis. Teknik seperti ventilasi silang dan efek

cerobong (*stack effect*) dapat menurunkan suhu dalam ruangan hingga 2-3°C di iklim tropis seperti temuan pada penelitian Aflaki, Mahyuddin, Mahmoud, dan Baharum (2015). Strategi ini tidak hanya menghemat energi tetapi juga meningkatkan kualitas udara dalam ruangan, berkontribusi pada kesehatan dan kesejahteraan penghuni.

Penggunaan massa termal yang efektif dalam konstruksi bangunan dapat secara signifikan menstabilkan suhu interior dan mengurangi fluktuasi termal. Penelitian menunjukkan bahwa implementasi yang tepat dari strategi massa termal dapat mengurangi konsumsi energi tahunan hingga 25% di iklim mediterania (Gregory, Moghtaderi, Sugo dan Page 2008). Strategi ini bekerja dengan menyerap panas selama periode panas, menyimpannya, dan melepaskannya secara perlahan saat suhu lingkungan menurun, menciptakan efek penyangga termal yang alami.

Salah satu contoh penerapan desain pasif yang ditekankan pada bangunan Masjid ini adalah *cross ventilation* dan selubung bangunan atau *shading devices*. *Cross ventilation* adalah fenomena alam dimana angin, udara segar atau hembusan angin masuk melalui sebuah bukaan, seperti jendela, dan mengalir langsung melalui ruangan dan keluar melalui bukaan di sisi berlawanan dari bangunan (dimana tekanan udara lebih rendah. Fenomena ini menciptakan aliran udara yang sejuk dan juga arus melintasi ruangan dari area terbuka ke area yang terlindung dan selubung bangunan selain berperan sebagai bukaan, juga sebagai permainan cahaya matahari agar panas tidak masuk seluruhnya ke dalam bangunan tersebut.

Secara kesimpulan, desain pasif juga dapat mencakup aspek pendinginan pasif, pemanasan pasif, dan ventilasi pasif (ketersediaan bukaan alami). Sedangkan poin-poin yang harus dipertimbangkan dalam desain pasif antara lain lokasi, lansekap, orientasi, pemilihan insulasi dan material, tata letak internal, vegetasi, dan penempatan bukaan alami. Dengan demikian, desain pasif memberikan kontribusi penting dalam menciptakan bangunan yang ramah lingkungan dan hemat energi (Aziz, 2022) (Latifah, 2015).

a. *Cross Ventilation* (Ventilasi Silang)

Ventilasi silang merupakan salah satu strategi utama dalam Rekayasa Desain Pendingin Pasif. Strategi ini melibatkan penempatan bukaan pada sisi bangunan yang berlawanan untuk memungkinkan aliran udara alami melalui bangunan (Sangkertadi, 2013). Dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara dan efek venturi, ventilasi silang dapat menciptakan pergerakan udara yang efektif di dalam ruangan, sehingga membantu mengurangi beban panas dan meningkatkan kenyamanan termal (Latifah, 2015). Desain bangunan yang memungkinkan ventilasi silang yang optimal memerlukan pertimbangan orientasi bangunan, letak dan ukuran bukaan, serta konfigurasi ruang yang sesuai. Keberhasilan ventilasi silang dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut berdasarkan aliran arah angin dan bukaan bangunan, seperti bukaan dengan besar lebih dari 20% luas lantai memungkinkan aliran angin masuk yang lebih banyak dan lebih besar juga.

b. Selubung Bangunan

Selubung bangunan, terutama dalam bentuk *secondary skin* atau selubung kedua, juga berperan penting dalam Rekayasa Desain Pendingin Pasif. *Secondary skin* merupakan lapisan tambahan pada selubung bangunan yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap paparan matahari langsung dan elemen cuaca lainnya (Latifah, 2015). *Secondary skin* ini dapat berupa fasad kaca ganda, dinding ganda, atau elemen vertikal seperti sun shading yang terpisah dari dinding utama. Dengan adanya rongga udara di antara selubung utama dan *secondary skin*, aliran udara dapat terjadi secara alami atau dibantu dengan sistem ventilasi, sehingga mengurangi beban panas yang masuk ke dalam bangunan (Satwiko, 2009).

c. Pendingin evaporatif

Pendinginan evaporatif juga menjadi salah satu strategi dalam Rekayasa Desain Pendingin Pasif. Strategi ini memanfaatkan proses penguapan air untuk menurunkan suhu udara yang masuk ke dalam

bangunan. Penerapannya dapat berupa kolam air, air mancur, atau tanaman rambat pada dinding bangunan yang dibasahi secara berkala. Ketika air menguap, panas laten penguapan diserap dari lingkungan sekitar, sehingga menurunkan suhu udara (Satwiko, 2009). Pendinginan evaporatif sangat efektif di daerah dengan iklim kering, namun juga dapat dimanfaatkan di iklim tropis lembab dengan mempertimbangkan kelembaban udara yang tinggi.

2.5 CBE Thermal Comfort Tool

CBE Thermal Comfort Tool merupakan aplikasi web yang dikembangkan oleh *Center for the Built Environment (CBE)* di Universitas California, Berkeley, untuk memudahkan perhitungan dan visualisasi berbagai indeks kenyamanan termal (CBE, 2021). Alat ini memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi kondisi termal berdasarkan model standar seperti *Predicted Mean Vote (PMV)*, *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*, dan *Standard Effective Temperature (SET)*, serta model adaptif seperti ASHRAE Standard 55 dan EN 16798.

CBE Thermal Comfort Tool menyediakan visualisasi yang intuitif dan memungkinkan pengguna untuk memasukkan data lingkungan seperti suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi termal, serta data individu seperti metabolisme dan insulasi pakaian (CBE, 2021). Alat ini kemudian melakukan perhitungan indeks kenyamanan termal yang relevan dan menyajikan hasilnya dalam bentuk nilai numerik maupun visualisasi grafik.

Selain itu, *CBE Thermal Comfort Tool* memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengeksplorasi berbagai skenario termal dengan mudah. Pengguna dapat dengan cepat mengubah nilai parameter dan melihat bagaimana perubahan tersebut mempengaruhi indeks kenyamanan termal. Hal ini sangat bermanfaat dalam proses perancangan lingkungan termal, di mana berbagai skenario dapat dievaluasi sebelum menentukan hasil akhir.

2.6 Tinjauan Penelitian Sejenis

Kajian mengenai pendingin pasif serta kenyamanan termal sudah banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya. Seperti Prakoso, dkk. (2014) telah mengkaji pengaruh material pada selubung bangunan terhadap kenyamanan termal dan visual, khususnya dalam kenyamanan termal. Mereka menekankan pentingnya pemilihan material yang tepat dalam desain bangunan untuk mencapai kondisi termal yang nyaman. Mereka juga menyoroti peran orientasi bangunan, pemilihan jenis warna dan selubung, serta luas material transparan memiliki pengaruh signifikan dalam menciptakan kenyamanan termal. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi yang baik dengan pemilihan jenis warna dan selubung serta luas material transparan dapat membantu mengatur sirkulasi udara dan radiasi matahari yang mempengaruhi suhu dalam bangunan.

Konsep penerapan dari adanya strategi ini diperkuat dengan adanya studi lain. Talarosha (2005) meneliti pengaruh orientasi bangunan dan pemilihan material dalam konteks rumah tinggal. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa desain yang mempertimbangkan aspek orientasi bangunan serta pemilihan dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal penghuni. Selain itu, pembahasan mengenai material dan pengaruhnya terhadap suhu dalam bangunan juga dibahas oleh Pratama dan Budiono (2021) dalam studinya mengenai Perancangan Jendela dan Partisi Pembatas dengan Pertimbangan Kenyamanan Termal. Desain jendela jika dibangun tidak dengan pertimbangan sirkulasi udara dapat membuat panas terperangkap di dalam ruangan tanpa akses untuk keluar. Strategi yang dapat dilakukan adalah dengan mengganti bagian atas jendela dengan penggunaan roster, sehingga udara dapat keluar dan masuk melalui akses yang tersedia pada bukaan-bukaan roster.

Rekayasa pendingin pasif lainnya seperti adanya ventilasi alami dalam menciptakan kenyamanan termal telah ditekankan dalam studi oleh Ohba dan Lun (2020) dengan parameter perhitungan alat simulasi sebagai acuan. Mereka mengulas perkembangan alat simulasi terkini yang digunakan dalam penelitian terkait ventilasi bangunan, yaitu pendekatan simulasi komputer dan perangkat lunak menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) yang terintegrasi

dengan simulasi energi bangunan telah memungkinkan peningkatan akurasi dalam menilai kinerja ventilasi alami dan juga memberikan prediksi aliran udara di gedung yang lebih realistis. Selain Ohba dan Lun, Prakash dan Ravikumar (2015) juga mendapatkan hasil serupa dengan menggunakan pendekatan melalui *software computational fluid dynamics* (CFD), di mana posisi pembukaan jendela pada dinding yang berdekatan dapat mempengaruhi karakteristik aliran udara dalam ruangan dan kenyamanan termal. Hasil ini menekankan pentingnya ventilasi alami sebagai salah satu strategi efektif dalam menjaga kenyamanan termal dalam bangunan.

Konsep pendinginan pasif dan adaptasi kenyamanan termal dalam arsitektur pasif merupakan salah satu solusi yang dapat diandalkan. Pendekatan ini memungkinkan penggunaan sumber daya alam secara efisien sambil mencapai kenyamanan termal yang diinginkan (Roaf, 2007). Kenyamanan termal dalam bangunan sangat dipengaruhi oleh material dan selubung bangunan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Santamouris dan Kolokotsa (2012), teknik pendinginan pasif dapat digunakan untuk mengoptimalkan kenyamanan termal dalam bangunan dan struktur lainnya dengan memaksimalkan peran material dan selubung bangunan seperti menggunakan material dengan konduktivitas rendah dan bukaan serta orientasi selubung yang baik dapat membantu menjaga suhu ruangan tetap stabil. Dengan demikian, arsitektur pasif menawarkan solusi berkelanjutan untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan ramah lingkungan.

Penggunaan pendingin udara pada suatu bangunan tidak hanya berpengaruh besar terhadap kenyamanan penghuni bangunan, tetapi juga berdampak signifikan terhadap keberlanjutan bangunan itu sendiri dan bahkan bangunan lainnya dalam komunitas, kota, dan budaya tempat bangunan tersebut berada (Roaf, 2007). Teknik pendinginan pasif adalah teknik yang memanfaatkan elemen-elemen alam seperti angin dan air untuk mendinginkan bangunan. Teknik ini lebih sedikit mengonsumsi energi dibandingkan dengan teknik pendinginan aktif (Zuber Angkasa, 2023). Pada penelitian lain juga desain pendinginan pasif terbukti dapat menjadi alternatif dalam menghadapi tantangan iklim yang semakin berubah seperti studi kasus di gelombang panas

jangka panjang di Eropa seperti pada penelitian Ozarisoy (Ozarisoy, 2021). Studi ini menekankan perlunya strategi desain yang efektif untuk melindungi kenyamanan termal penghuni dalam kondisi iklim yang semakin ekstrem.

Pentingnya Material dan Orientasi Bangunan juga menunjukkan bahwa pemilihan material yang tepat dan orientasi bangunan memiliki peran penting dalam menciptakan kenyamanan termal. Prakoso, dkk. (2014) menunjukkan bahwa material dan orientasi bangunan pada selubung bangunan dapat mengatur sirkulasi udara dan radiasi matahari yang mempengaruhi suhu dalam bangunan. Selain itu, pemilihan jenis warna dan selubung, serta luas material transparan juga berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal.

Peran ventilasi alami menjadi faktor penting dalam menciptakan kenyamanan termal. Studi oleh Ohba dan Lun (2020) menunjukkan bahwa penggunaan alat simulasi terkini seperti *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang terintegrasi dengan simulasi energi bangunan dapat meningkatkan akurasi dalam menilai kinerja ventilasi alami dan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana ventilasi alami dapat berperan dalam mengatur suhu dalam bangunan. Pendekatan melalui simulasi perangkat lunak seperti ini memberikan prediksi aliran udara di gedung yang lebih realistis, sehingga dapat membantu dalam merancang sistem ventilasi yang efektif. Konsep pendinginan pasif dalam arsitektur juga menunjukkan potensi besar. Pendekatan ini memungkinkan penggunaan sumber daya alam secara efisien sambil tetap mencapai kenyamanan termal yang diinginkan, sebagaimana yang diungkapkan dalam penelitian Roaf (2007). Teknik pendinginan pasif, seperti pemanfaatan angin dan air, dapat mengurangi konsumsi energi secara substansial, yang merupakan solusi yang sangat relevan dalam menghadapi tantangan iklim yang semakin ekstrem, sebagaimana ditunjukkan oleh Ozarisoy (2021).

Dalam rangka mencapai kenyamanan termal yang optimal dalam desain bangunan, penelitian ini telah menguraikan beberapa temuan penting dari tinjauan pustaka yang relevan. Pemilihan material dalam selubung bangunan, sebagaimana dibahas oleh Prakoso, dkk. (2014) memiliki salah satu peran dalam mengatur suhu dalam bangunan. Ventilasi alami, seperti yang diteliti

oleh Ohba dan Lun (2020), juga menjadi faktor penting dalam mencapai kenyamanan termal yang diinginkan. Selain itu, konsep pendinginan pasif seperti yang dijelaskan oleh Roaf (2007) dan Ozarisoy (2021), menawarkan alternatif yang efisien dalam menghadapi tantangan iklim yang semakin ekstrem. Integrasi elemen-elemen ini dalam desain bukan hanya meningkatkan kenyamanan penghuni, tetapi juga mendukung keberlanjutan bangunan dan adaptasi terhadap perubahan iklim yang semakin kompleks. Dalam konteks masa depan, desain bangunan yang cerdas harus mempertimbangkan semua temuan ini untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan. Strategi ini mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan dan pemanasan, sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, pendekatan ini menunjukkan bagaimana desain dan konstruksi bangunan dapat beradaptasi dengan perubahan iklim dan berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan.

- Dari rangkuman penelitian-penelitian sebelumnya, yang akan menjadi fokus utama dalam skripsi ini adalah "Kajian Pendekatan *Passive Cooling* terhadap Kenyamanan Termal pada Masjid Jami Al-Hurriyah Jakarta Selatan". Dengan demikian, penelitian ini akan mengeksplorasi sejauh apa pengaruh rekayasa pendingin pasif yang digunakan dalam bangunan masjid dapat memengaruhi kenyamanan termal di dalamnya. Penelitian ini mengadaptasi kesamaan pada penelitian Roaf (2007) dan Ozarisoy (2021) mengenai bagaimana eksplorasi rekayasa pendingin pasif dalam desain arsitektur serta faktor-faktor seperti angin dan matahari dapat mempengaruhi kenyamanan termal dalam bangunan. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan rekayasa desain pendingin pasif pada bangunan dapat meningkatkan kenyamanan termal, serta penting untuk merancang bangunan yang dapat lebih lebih efisien energi. Pada penelitian ini juga memiliki perbedaan dengan penelitian Prakoso, dkk. (2014), yaitu pada objek penelitian ini mengambil rumah peribadatan, yaitu Masjid. Pada penelitian sejenis lainnya, penelitian ini juga memiliki kesamaan pada penelitian Roaf (2007) yang berfokus pada pendekatan desain arsitektur pasif dan bagaimana hal tersebut dapat digunakan untuk menciptakan kenyamanan termal dalam arsitektur. Namun, perbedaan dalam penelitian ini

terletak pada lokasi yang berbeda di kedua negara yang menjadi subjek penelitian.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman tentang bagaimana desain bangunan yang dapat menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan, terutama dalam konteks bangunan ibadah seperti masjid. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti orientasi bangunan, penerapan material, dan penggunaan teknologi yang tepat, kita dapat mengoptimalkan teknik pendinginan pasif dan pendekatan adaptif terhadap kenyamanan termal. Dengan demikian, kita tidak hanya menciptakan ruang ibadah yang nyaman bagi jamaah, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa desain arsitektur yang baik tidak hanya tentang estetika, tetapi juga tentang bagaimana menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan.

- Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan *passive cooling* dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti orientasi bangunan, penempatan bukaan, dan penggunaan elemen-elemen seperti louver dan *shading devices* untuk mengoptimalkan penggunaan cahaya alami dan pengurangan panas matahari yang berlebihan.

Tinjauan literatur memberikan wawasan yang mendalam tentang berbagai faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang dengan rekayasa desain melalui pendekatan *passive cooling* yang efektif, berkelanjutan, dan estetis sesuai dengan konteks arsitektural yang bersangkutan. Selain itu, tinjauan literatur ini juga akan membantu dalam mengidentifikasi peluang-peluang untuk penggunaan teknologi terkini dalam pengembangan rekayasa desain bangunan yang lebih canggih dan berkelanjutan.

Temuan-temuan yang didapatkan dari tinjauan literatur yang telah dipelajari, didapatkan beberapa variabel-variabel yang dapat memengaruhi kenyamanan termal. Tiap variabel yang memengaruhi kenyamanan termal masing-masingnya memiliki beberapa faktor yang dapat memengaruhi keberhasilan dari variabel itu sendiri dalam memberikan hasil yang baik terhadap kenyamanan termal tersebut. Hasil yang didapatkan setelah faktor dan

variabel terpenuhi dengan baik ditunjukkan dengan nilai poin PMV dan presentase PPD yang sesuai berdasarkan standar ASHRAE-55.

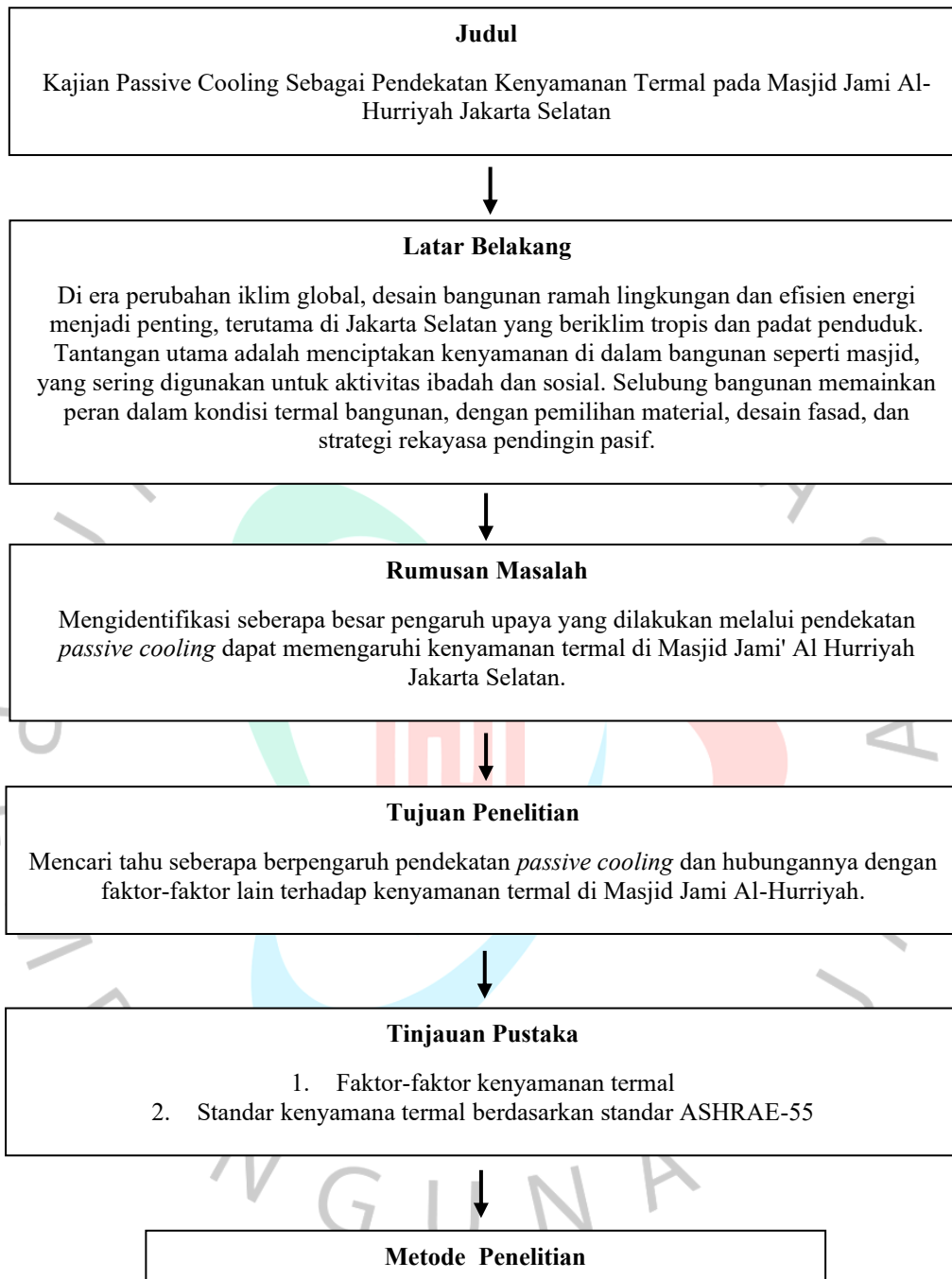
Adapun SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung tidak dijadikan acuan karena belum dilengkapi dengan instrumen pengukuran yang memadai. Pertimbangan lainnya, biasanya SNI merujuk pada referensi-referensi eksternal termasuk ASHRAE 55.

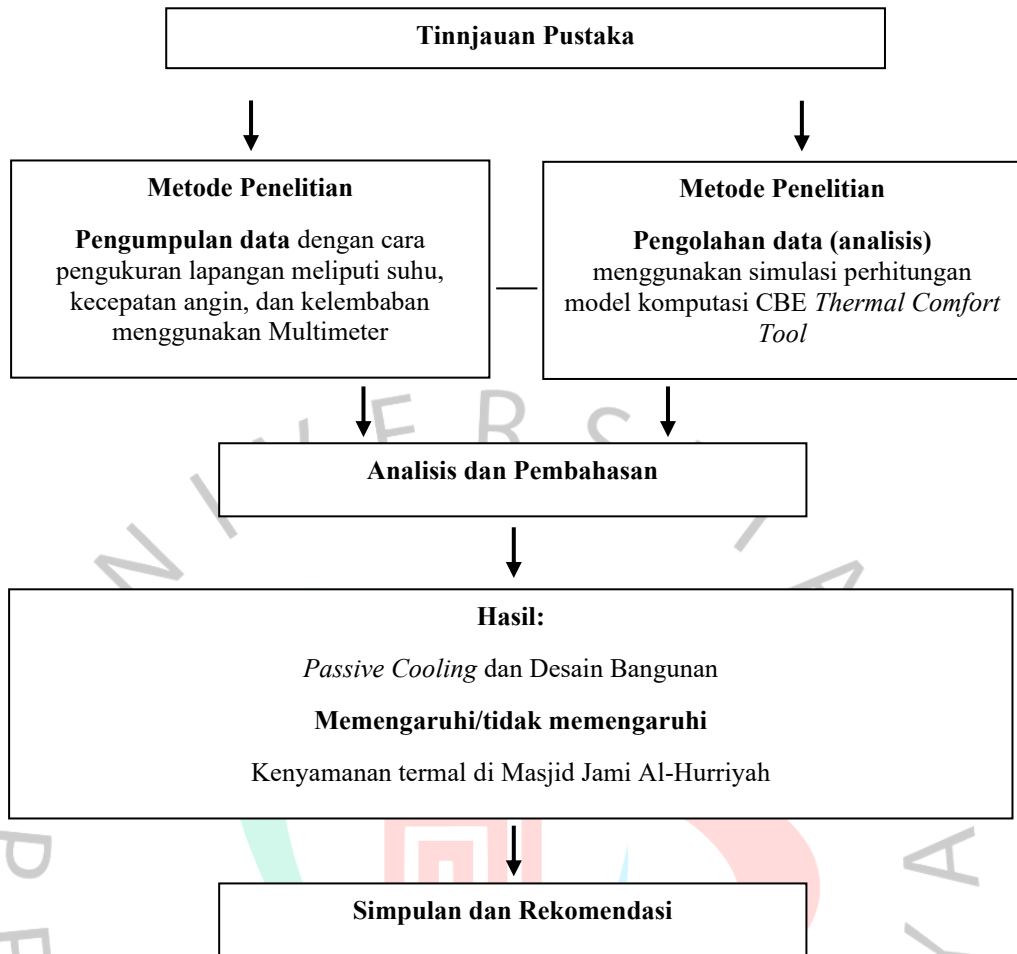
Tabel 2. 3 *Kesimpulan Variabel Penelitian*

	Variabel	Faktor	
Kenyamanan Termal Satwiko (2004 dan 2009) Boutet (1987) dan Melaragno (1982) dalam Latifah (2015) Roaf (2007)	Passive Cooling Talarosha (2005)	Ventilasi Silang Talarosha (2005)	PMV PPD Ohba dan Lun (2020) ASHRAE-55
		Selubung Bangunan Prakoso, dkk. (2014) Talarosha (2005)	
	Desain Bangunan Boutet (1987) dan Melaragno (1982) dalam Latifah (2015)	Orientasi Prakoso, dkk. (2014)	
		Material	
		Vegetasi	
	Lingkungan Satwiko (2004 dan 2009) Boutet (1987) dan Melaragno (1982) dalam Latifah (2015)	Temperatur Radiasi Matahari	
		Kecepatan Aliran Udara	
		Kelembaban Udara	
	Kondisi Internal ASHRAE-55	Temperatur Udara	
		Insulasi Pakaian	
		Metabolisme (Aktivitas Fisik)	

Sumber: Pribadi (2024)

2.7 Kerangka Pemikiran





Gambar 2. 1 Masjid Jami' Al-Hurriyah

Sumber: Pribadi (2024)

2.8 Sintesis

Berdasarkan sejumlah pustaka yang digunakan pada penelitian, penulis memaparkan sintesis penelitian menjadi sebuah alur pembahasan yang jelas dengan tujuan memfokuskan penelitian sebagai berikut:

Tabel 2. 4 *Kesimpulan Variabel Penelitian*

Sintesis	Teori/Standar		Variabel/Metode
Faktor-faktor kenyamanan termal	Mengacu pada perhitungan PMV dan PPD dengan standar nilai kenyamanan ASHRAE	Internal	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolisme • Pakaian
		Eksternal	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu • Kecepatan udara • Kelembaban • Radian
Simulasi model perhitungan PMV (<i>Predicted Mean Value</i>)	Indeks yang berdasarkan standar ASHRAE-55 dengan rekomendasi kenyamanan pada skala poin PMV berkisar -0.3 sampai 0.3		CBE <i>Thermal Comfort Tool</i>
Simulasi Model Perhitungan PPD (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>)	Indeks yang berdasarkan standar ASHRAE-55 dengan nilai poin PPD antara 5% hingga 20%		

Sumber: Pribadi (2024)