

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Untuk mendapatkan teori yang sesuai dengan masalah yang diteliti, orang biasanya melakukan tinjauan pustaka. Kemudian, beberapa kumpulan penelitian yang terkait dipilih untuk mendukung penelitian yang telah dilakukan. Kajian pustaka meliputi identifikasi, penemuan, dan analisis dokumen yang berisi informasi tentang topik penelitian. Berikut aspek-aspek dan literatur yang berhubungan dengan topik yang saya ambil.

2.2 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah kondisi di mana penghuni merasa nyaman terhadap suhu lingkungan sekitarnya. Menurut Fanger's Comfort Equation (Fanger, 1970), kenyamanan termal bergantung pada keseimbangan antara panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia dengan panas yang dilepaskan ke lingkungan. Selain itu, penelitian oleh Olgyay (1963) menekankan pentingnya mempertimbangkan faktor iklim dalam desain arsitektur untuk menciptakan lingkungan hunian yang nyaman. Ini terutama penting di wilayah tropis yang menghadapi tantangan terkait suhu dan kelembapan tinggi.

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 factor-faktor seperti suhu udara, kelembapan 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.

Suhu atau temperatur udara adalah salah satu factor yang dominan dalam mempengaruhi kenyamanan termal pada suatu bangunan. Satuan yang digunakan untuk temperatur udara adalah Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Celvin.

Jika ditinjau dari peraturan pemerintah dalam (KEMENKES, 1998) menyatakan standar suhu ruangan berada pada kisaran 18°C - 26°C .

Bangunan di iklim tropis menghadapi tantangan besar dalam hal pengendalian panas dan kelembapan. Koenigsberger et al. (1973) menyarankan bahwa bangunan di iklim tropis perlu mengoptimalkan ventilasi alami dan menggunakan material yang dapat mengurangi penyerapan panas. Yeang (1995) menambahkan bahwa bangunan ramah lingkungan, yang didesain dengan mempertimbangkan efisiensi energi, juga penting untuk menjaga kenyamanan termal dan mendukung keberlanjutan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal dalam ruangan atau bangunan meliputi sejumlah elemen yang secara langsung atau tidak langsung berkontribusi pada kenyamanan termal penghuni. Berikut adalah faktor-faktor tersebut beserta penjelasannya:

2.2.1 Suhu Udara

Suhu udara di dalam ruangan adalah faktor utama dalam kenyamanan termal. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat membuat penghuni merasa tidak nyaman. Dalam kondisi ideal, suhu ruangan untuk kenyamanan berkisar antara 20 – 27°C , tergantung pada iklim dan preferensi individu. 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 kelembapan relatif 30% hingga 60%. Sementara untuk musim dingin, rentang suhu operatif nyaman adalah 20°C hingga 24°C dengan kelembapan 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.

Tabel 2. 1 Standar Temperatur Udara

No.	Standar Baku	Keterangan
1	ASHRAE 55 (2013)	19.6°C - 27.9°C
2	SNI-03-6572-2001	20°C - 30°C

2.2.2 Kecepatan Udara

Kecepatan aliran udara merupakan faktor penting dalam menentukan kenyamanan termal dan efektivitas penghawaan alami dalam suatu bangunan. Standar ASHRAE 55-2013 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, 2013; Satwiko, 2009).

Tabel 2. 2 Standar Kecepatan Udara

No.	Standar Baku	Keterangan
1	ASHRAE 55 (2013)	0.2 m/s - 0.8 m/s
2	SNI-03-6572-2001	0.2 m/s - 0.5 m/s

2.2.3 Kelembapan Udara

Kelembapan udara merupakan salah satu faktor penting dalam mencapai kenyamanan termal dan penghawaan alami yang optimal. Standar ASHRAE 55-2013 menyatakan bahwa kelembapan 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 kelembapan yang direkomendasikan oleh ASHRAE 55 dan SNI ini bertujuan untuk mencapai kenyamanan termal dan kesehatan bagi penghuni bangunan.

Selain itu, kelembapan udara yang rendah juga dapat mengurangi kenyamanan termal karena meningkatkan evaporasi keringat dari tubuh, sehingga tubuh merasa lebih dingin (Satwiko, 2009).

Dalam konteks penghawaan alami, kelembapan udara yang tidak terkendali dapat mengurangi efektivitas ventilasi alami dalam menciptakan kenyamanan termal. Udara luar dengan kelembapan tinggi yang masuk ke dalam bangunan melalui ventilasi alami dapat meningkatkan beban pendinginan dan menyebabkan ketidaknyamanan termal (Satwiko, 2009).

Sebaliknya, udara luar dengan kelembapan rendah yang masuk ke dalam bangunan dapat menyebabkan kekeringan yang berlebihan dan meningkatkan risiko masalah kesehatan yang terkait dengan kelembapan rendah (Satwiko, 2009).

Satwiko (2009) menekankan pentingnya pemilihan dan pengoperasian sistem pengendalian kelembapan 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 kelembapan udara menjadi sangat penting untuk memastikan kenyamanan termal dan kesehatan penghuni.

Tabel 2. 3 Standar Kelembapan Udara

No.	Standar Baku	Keterangan
1	ASHRAE 55 (2013)	40% - 60%
2	SNI-03-6572-2001	40% - 50%

2.2.4 Temperatur Radian/Radiasi

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.

2.2.5 Aktivitas Fisik (Tingkat Metabolisme)

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 (2013) 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 20 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, 2013).

2.2.6 Jenis dan Ketebalan Pakaian

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, 2013).

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

2.3 Rumah Dome

Rumah dome adalah bangunan berbentuk kubah atau setengah lingkaran dengan dinding melengkung dan tidak memiliki sudut atau dinding yang rata. Daya tahan tinggi terhadap cuaca ekstrem, seperti gempa bumi, angin kencang, dan badai, adalah salah satu keunggulan desain ini. Bentuknya yang aerodinamis juga

mengurangi tekanan angin pada bangunan, yang membuatnya ideal untuk lingkungan yang rentan terhadap bencana.



Gambar 2. 1 Dokumentasi Penulis 3

Keunggulan dari Rumah Dome antara lain:

1. **Tahan Bencana:** Bentuk kubah membuat rumah dome lebih kuat menghadapi gempa, angin, dan bencana alam lainnya.
2. **Efisiensi Ruang:** Interior rumah dome dapat dimanfaatkan lebih fleksibel karena tidak ada sudut yang terbuang.
3. **Hemat Energi:** Bentuknya memungkinkan sirkulasi udara yang baik dan mengurangi kebutuhan akan pendingin atau pemanas ruangan.
4. **Desain Unik:** Rumah dome memiliki tampilan yang menarik dan berbeda dari bangunan konvensional.

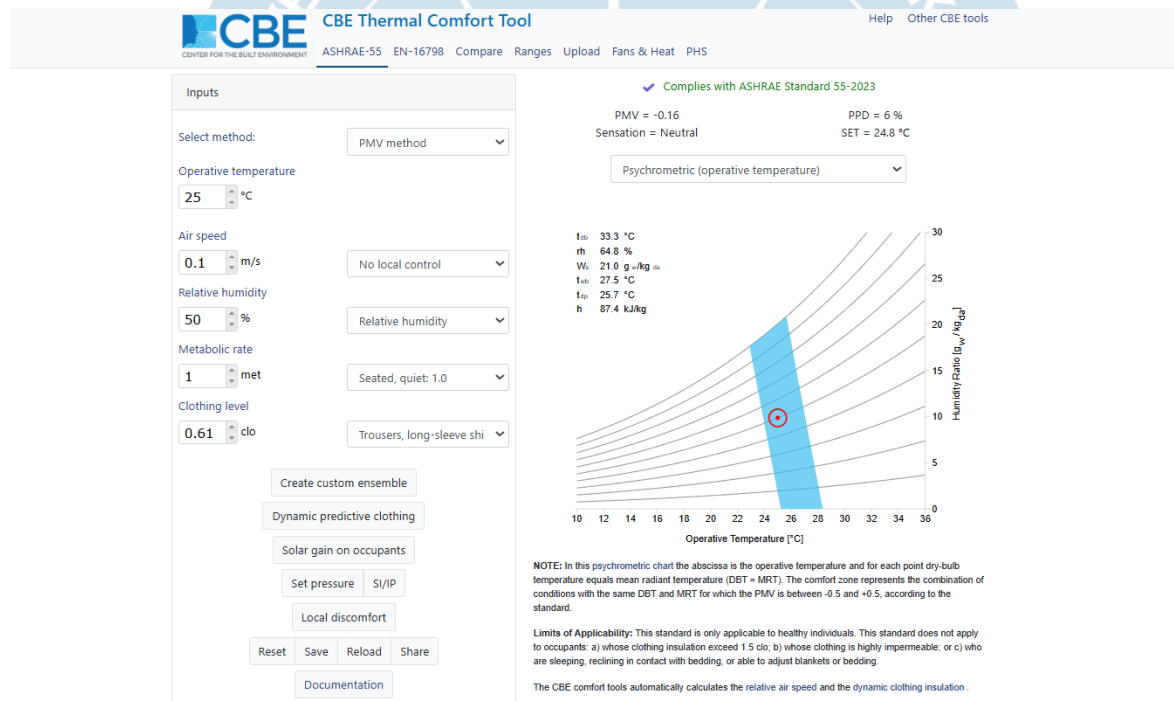
Kemudian Kelemahan dari Rumah Dome antara lain:

1. **Konstruksi Khusus:** Memerlukan teknik konstruksi yang berbeda dari bangunan konvensional, sehingga sering kali membutuhkan tenaga ahli.
2. **Pencahayaan Alami:** Karena bentuknya, mungkin dibutuhkan perencanaan khusus untuk pencahayaan alami dan ventilasi.

2.4 CBE Thermal Comfort Tool

CBE Thermal Comfort Tool adalah sebuah aplikasi berbasis web yang dikembangkan oleh Center for the Built Environment (CBE) di Universitas California, Berkeley. CBE Thermal Comfort Tool merupakan software penghitungan kenyamanan termal berbasis web gratis yang memungkinkan pengguna melakukan

penghitungan dan visualisasi sesuai standar kenyamanan termal yang ada. Program ini menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data yang kita masukkan. Data tersebut berupa suhu udara, suhu radiasi, kecepatan udara, kelembaban relatif, nilai isolasi pakaian (clo) dan nilai metabolisme (met). PMV dan PPD yang dihasilkan mengacu pada ASHRAE-55 (Zulkarnain Marzuki, 2024). Dengan alat ini, pengguna dapat menganalisis kondisi termal menggunakan model standar seperti Predicted Mean Vote (PMV), Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD), dan Standard Effective Temperature (SET), serta model adaptif yang mengacu pada ASHRAE Standard 55 dan EN 16798. Penyelesaian persamaan PMV dan PPD memerlukan program komputer karena nilai h_c dan t_{cl} saling bergantung (Satwiko, 2009). Salah satu program tersebut adalah CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE 55 (2013)



Gambar 2. 2 Website CBE Thermal Comfort Tool

Aplikasi ini menawarkan tampilan visual yang mudah dipahami dan memungkinkan pengguna untuk memasukkan berbagai data lingkungan, seperti suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, serta radiasi termal, termasuk juga data individu seperti tingkat metabolisme dan insulasi pakaian. Setelah itu, sistem akan menghitung indeks kenyamanan termal yang sesuai dan menampilkan hasilnya dalam bentuk angka maupun grafik visual.

Selain itu, CBE Thermal Comfort Tool memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengeksplorasi berbagai skenario kondisi termal. Pengguna dapat dengan cepat menyesuaikan parameter dan melihat dampaknya terhadap indeks kenyamanan termal. Fitur ini sangat berguna dalam proses perancangan lingkungan termal, karena memungkinkan analisis berbagai skenario sebelum mengambil keputusan akhir.

2.4.1 Model 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, kelembapan 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.

2.4.1.1 PMV Method (Predicted Mean Vote)

Metode PMV dikembangkan pada tahun 1970-an atas inisiatif ilmuwan Denmark, Profesor P.O. Fanger yang tertarik pada hubungan antara lingkungan fisik dan kenyamanan termal manusia. Metode ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika untuk memprediksi persepsi kenyamanan termal manusia dalam lingkungan yang terkendali seperti ruangan ber-AC. Iklim pada saat itu membutuhkan metode semacam ini yang besar-besarnya karena masuknya sistem HVAC

(Heating, Ventilation and Air Conditioning) dalam bangunan perkantoran dan komersial. Fanger memulai penelitiannya dengan melakukan serangkaian percobaan untuk mengukur respon manusia di laboratorium terhadap kondisi termal yang berbeda. Dari percobaan ini, ditemukan hubungan antara variabel lingkungan dan persepsi subjektif manusia terhadap suhu.

Sistem PMV berorientasi pada pengukuran skala yang bersifat termal yang dimulai dari -3 yang berarti sangat dingin sampai 3 yang berarti sangat panas, dengan 0 sebagai netral atau nyaman. Skala ini diharapkan dapat menggambarkan sebagai panas ruangan tertentu sesuai dengan perkiraan tiga warga kota. PMV mengkalkulasikan tingkat kenyamanan menjadi 1 bilangan hasil berdasarkan suhu ruang dan beberapa komponen diantaranya yaitu: suhu udara, kelembapan, tingkat radiasi, pengeluaran panas tubuh, serta rata-rata jenis baju yang dipakai.

2.4.1.2 Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

Metode PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) merupakan turunan dari metode PMV dan digunakan untuk mengukur persentase orang yang diprediksi merasa tidak nyaman dalam kondisi termal tertentu. PPD memberikan angka yang menunjukkan persentase ketidakpuasan yang diharapkan pada skala PMV yang diberikan. Sebagai contoh, nilai PMV antara -0.5 hingga 0.5 biasanya dihubungkan dengan PPD di bawah 10%, yang menunjukkan tingkat ketidakpuasan yang rendah. Metode ini mengukur sejauh mana kondisi termal dalam suatu ruang dapat diterima oleh penghuninya, sehingga membantu arsitek dan perencana untuk mengidentifikasi dan meminimalkan ketidaknyamanan termal. Tujuan penggunaan metode PPD adalah untuk memastikan bahwa desain bangunan tidak hanya memenuhi standar kenyamanan rata-rata, tetapi juga meminimalkan ketidakpuasan di antara penghuninya.

2.4.1.3 Adaptive Method

Metode adaptive atau adaptive comfort model mulai dikembangkan pada akhir 1970-an hingga 1980-an sebagai respon

terhadap keterbatasan metode PMV, terutama untuk bangunan yang tidak menggunakan AC. Para peneliti menyadari bahwa di lingkungan tanpa sistem kontrol suhu yang ketat, penghuni cenderung menyesuaikan diri terhadap kondisi termal di sekitarnya. Misalnya, orang yang tinggal di iklim tropis atau subtropis menunjukkan toleransi yang lebih tinggi terhadap suhu yang lebih panas, sementara orang di daerah beriklim dingin lebih terbiasa dengan suhu yang lebih rendah. Konsep ini melahirkan pendekatan kenyamanan termal yang mempertimbangkan adaptasi manusia terhadap kondisi iklim.

Pada tahun 1990-an, ASHRAE memperkenalkan model adaptif ke dalam standar kenyamanan termal ASHRAE 55, sebagai alternatif untuk bangunan berventilasi alami. Standar tersebut memungkinkan bangunan tanpa AC dinilai dari segi kenyamanan termal dan memperhitungkan tindakan adaptif penghuninya, seperti membuka atau menutup jendela dan penggunaan kipas angin, berdasarkan masukan penghuni. Sejak saat itu, pendekatan adaptif juga telah diadopsi dalam standar EN 15251 yang juga mengembangkan pedoman kenyamanan termal untuk bangunan berventilasi alami di berbagai iklim. Saat ini, pendekatan ini dianggap berlaku untuk bangunan yang dirancang hemat energi dan berkelanjutan (Green Building) di mana ketergantungan pada sistem AC diminimalkan.

2.5 Ventilasi

Ventilasi yang baik memungkinkan pertukaran udara yang efektif antara dalam dan luar ruangan, sehingga suhu dalam ruangan turun, kelembapan turun, dan udara panas keluar lebih cepat dari udara dalam ruangan. Ini meningkatkan kenyamanan penghuni dan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin mekanis seperti AC, yang menghasilkan kualitas udara yang lebih baik dan efisiensi energi.

2.5.1 Ventilasi Alami

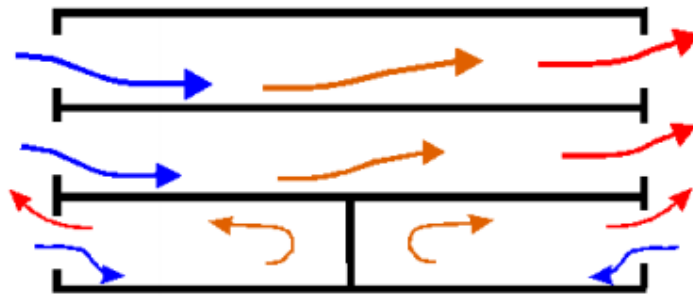
Dalam konteks rumah dome, yang memiliki bentuk setengah bola, penerapan ventilasi alami menjadi sangat penting. Penelitian menunjukkan

bahwa ventilasi alami pada rumah dome dapat meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin mekanis.

2.5.1.1 Ventilasi Horizontal

Aliran udara terjadi bila terdapat perbedaan suhu udara luar dan dalam ruangan, atau antar ruang dalam bangunan. Ada dua macam penempatan lubang ventilasi untuk pengarahan aliran udara dari lubang masuk ke lubang keluar, yaitu:

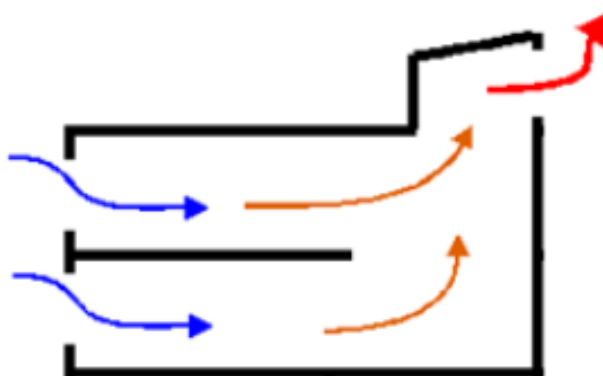
- Ventilasi silang (*cross ventilation*) yaitu lubang ventilasi terdapat pada dua sisi ruangan.
- Ventilasi satu sisi (*single sided ventilation*) yaitu lubang ventilasi hanya pada satu sisi ruangan.



Gambar 2. 3 Contoh ventilasi silang dan satu sisi (horizontal)

2.5.1.2 Ventilasi Vertikal

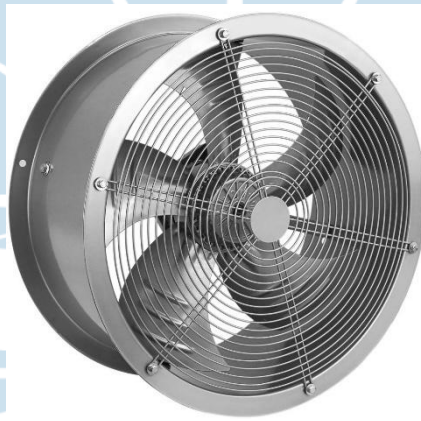
Aliran udara terjadi karena perbedaan berat jenis lapisan-lapisan udara luar dan dalam bangunan. Udara dengan berat jenis rendah mengalir ke atas, sedang udara dingin dengan berat jenis tinggi mengalir ke bawah (efek cerobong).



Gambar 2. 4 Contoh ventilasi vertical

2.5.2 Ventilasi Mekanis

Untuk rumah dome, ventilasi mekanis sangat penting, terutama karena bentuk kubah yang tertutup dan sudut yang minim dapat membatasi aliran udara alami jika tidak dirancang dengan benar. Meskipun bentuk lengkung dome rumah secara pasif mendukung ventilasi alami seperti cerobong, penambahan sistem ventilasi mekanis dapat membantu sirkulasi udara tetap lancar dan kualitas udara dalam ruangan tetap terjaga, terutama di tempat yang tidak memiliki bukaan langsung atau saat kondisi luar tidak mendukung ventilasi alami (seperti cuaca lembap atau kurang angin). Salah satu contohnya Exhaust Fan, yang berguna untuk mengeluarkan udara panas, lembap, atau tercemar dari dalam ruangan ke luar. Umumnya digunakan di dapur, kamar mandi, atau ruang mesin. Contoh lainnya yang lebih umum yaitu penggunaan Air Conditioner (AC).



Gambar 2. 5 Contoh Exhaust Fan