

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Iklim Tropis

Tropis merupakan kata yang berasal dari bahasa Yunani, yaitu “tropikos” yang berarti garis balik yang meliputi sekitar 40% dari luas seluruh permukaan bumi. Garis-garis balik ini adalah garis lintang 23°27' Utara dan Selatan. Daerah tropis didefinisikan sebagai daerah yang terletak diantara garis isotherm 20° di sebelah bumi Utara dan Selatan (Lippsmeier, 1994).

Terdapat 2 macam iklim tropis, yakni tropis kering (*Dry Tropic*) dan tropis basah (*Wet Tropic*). (Rondonuwu & Gosal, 2011)

a. Daerah tropis kering

Padang pasir sangat kering, hampir tidak mengenal hujan. Walaupun hujan, maka sangat tidak teratur. Daerah ini pada siang hari memiliki temperatur dan potensi penguapan yang tinggi. Sungai-sungai kering dan aliran air menunjukkan bahwa kadang-kadang turun hujan yang sangat lebat. Tetapi karena airnya terlalu cepat mengalir hampir tidak dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia. Tumbuhan rendah dan pohon-pohon rendah kurus yang tumbuh jarang merupakan ciri daerah ini.

b. Daerah tropis basah

Daerah lembab mencakup savana lembab, daerah dengan angin musim dan hutan hujan tropis. Daerah savana lembab dan daerah bermusim hujan memiliki satu atau dua musim hujan dengan batas yang jelas. Tumbuhan di daerah ini lebat dan mampu melewati musim kering panjang tanpa akibat yang berarti. Ciri khas daerah ini adalah rendahnya perbedaan temperatur harian dan tahunan; pada kelembaban yang tinggi dan temperatur selalu hampir sama sepanjang tahun. Kekayaan tumbuhan di daerah yang sangat lembab sangat luar biasa. Terdapat lebih dari 35.000 jenis tumbuhan berbunga. Beberapa jenis pohon menjulang tinggi sampai 60 m dari tinggi rata-rata hutan tropis khatulistiwa mencapai sekitar 20 m.

2.1.1. Iklim Tropis Lembab

Pada iklim ini terjadi sedikit sekali perubahan “musim” dalam satu tahun, satu-satunya tanda terjadi pergantian musim adalah banyak atau sedikitnya hujan, dan terjadinya angin besar. Karakteristik warm humid climate (iklim panas lembab) adalah sebagai berikut (Lippsmeier, 1994) :

- Lansekap, rain forest (hutan hujan) terdapat sepanjang pesisir pantai dan dataran rendah daerah ekuator.
- Kondisi tanah, merupakan tanah merah atau coklat yang tertutup rumput.

- Tumbuhan, zona ini tumbuhan sangat bervariasi dan lebat sepanjang tahun. Tumbuhan tumbuh dengan cepat karena pengaruh curah hujan yang tinggi dan suhu udara yang panas.
- Musim. Terjadi sedikit perbedaan musim. Pada bulan “panas” kondisi panas dan lembab sampai basah. Pada belahan utara, bulan “dingin” terjadi pada Desember-Januari, bulan “panas” terjadi pada Mei sampai Agustus. Pada belahan selatan bulan “dingin” terjadi pada April sampai Juli, bulan “panas” terjadi pada Oktober sampai Februari.
- Kondisi langit, hampir sepanjang tahun keadaan langit berawan. Lingkungan awan berkisar 60%-90%. Luminance (lumansi) maksimal bisa mencapai 7000 cd/m² sedangkan luminasi minimal 850cd/m².
- Radiasi dan panas matahari, pada daerah tropis radiasi matahari dikategorikan tinggi. Sebagian dipantulkan dan sebagian disebarkan oleh selimut awan, meskipun demikian sebagian radiasi yang mencapai permukaan bumi mempunyai dampak yang besar dalam mempengaruhi suhu udara.
- Temperatur udara, terjadi fluktuasi perbedaan temperatur harian dan tahunan. Rata-rata temperatur maksimum tahunan adalah 30,50°C. temperatur rata-rata tahunan untuk malam hari adalah 25°C tetapi umumnya berkisar antara 21-27°C. sedangkan selama siang hari berkisar 27-320°C. kadang-kadang lebih dari 32°C.
- Curah hujan sangat tinggi selama satu tahun, umumnya menjadi sangat tinggi dalam beberapa tahun tertentu. Tinggi curah hujan

tahunan berkisar antara 2000-5000 mm, pada musim hujan dapat bertambah. Sampai 500 mm dalam sebulan. Bahkan pada saat badai bisa mencapai 100 mm per jam.

- Kelembaban, dikenal sebagai RH (Relative humidity), umumnya rata-rata tingkat kelembaban adalah sekitar 75%, tetapi kisaran kelembabannya adalah 55% sampai hampir 100%. Absolute humidity antara 25-30 mb.
- Pergerakan udara, umumnya kecepatan angin rendah, tetapi angin kencang dapat terjadi selama musim hujan. Arah angin biasanya hanya satu atau dua.
- Karakteristik khusus, tingginya kelembaban mempercepat pertumbuhan alga dan lumut, bahan bangunan organik membusuk dengan cepat dan banyaknya serangga. Evaporasi tubuh terjadi dalam jumlah kecil karena tingginya kelembaban dan kurangnya pergerakan udara (angin). Rata-rata badai adalah 120-140 kali dalam satu tahun.

2.2. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan proses yang melibatkan proses fisik fisiologis dan psikologis. Kenyamanan termal adalah kondisi pikir seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya. (Szokolay, 1973). Kenyamanan termal merupakan salah satu unsur kenyamanan yang sangat penting, karena menyangkut kondisi suhu

ruangan yang nyaman. Seperti diketahui, manusia merasakan panas atau dingin merupakan wujud dari sensor perasa pada kulit terhadap stimuli suhu di sekitarnya. Sensor perasa berperan menyampaikan informasi rangsangan kepada otak, dimana otak akan memberikan perintah kepada bagian-bagian tubuh tertentu agar melakukan antisipasi untuk mempertahankan suhu sekitar 37°C. Hal ini diperlukan organ tubuh agar dapat menjalankan fungsinya secara baik.

2.2.1. Faktor-Faktor Kenyamanan Termal

Telah disebutkan sebelumnya, Szokolay dalam '*Manual of Tropical Housing and Building*' menyebutkan kenyamanan tergantung pada variabel iklim (matahari/radiasinya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan beberapa faktor individual/subyektif seperti pakaian, aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, tingkat kegemukan, tingkat kesehatan, jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi, serta warna kulit.

Teori Fanger, Standar Amerika (ANSI/ASHRAE 55-2004) dan Standar Internasional untuk kenyamanan termis (ISO 7730:1994) juga menyatakan hal yang sama bahwa kenyamanan termis yang dapat dirasakan manusia merupakan fungsi dari faktor iklim serta dua faktor individu yaitu jenis aktifitas yang berkaitan dengan tingkat metabolisme tubuh serta jenis pakaian yang digunakan. Menurut teori ini, kenyamanan suhu tidak secara nyata dipengaruhi oleh perbedaan jenis kelamin, tingkat

kegemukan, faktor usia, suku bangsa, tempat tinggal geografis, adaptasi, faktor kepadatan, faktor warna dan sebagainya.

Menurut Humphreys dan Nicol (2000) kenyamanan suhu juga dipengaruhi oleh adaptasi dari masing-masing individu terhadap suhu luar di sekitarnya. Manusia yang biasa hidup pada iklim panas atau tropis akan memiliki suhu nyaman yang lebih tinggi dibanding manusia yang biasa hidup pada suhu udara rendah seperti halnya bangsa Eropa.

Tabel 2.1 Perbandingan Faktor Penentu Suhu Nyaman
Sumber: (Talarosha, 2005)

Szokolay	Fanger	Humphreys dan Nicol
1. Iklim: <ul style="list-style-type: none"> • Matahari • Suhu udara • Angin • Kelembaban udara luar 2. Faktor Individu: <ul style="list-style-type: none"> • Pakaian • Aklimatisasi • Usai dan jenis kelamin • Tingkat kegemukan • Tingkat kesehatan • Jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi • Suku bangsa 	1. Iklim: <ul style="list-style-type: none"> • Matahari • Suhu udara • Angin • Kelembaban udara luar 2. Faktor Individu: <ul style="list-style-type: none"> • Aktifitas • Pakaian 	1. Iklim: <ul style="list-style-type: none"> • Matahari • Suhu udara • Angin • Kelembaban udara luar 2. Faktor Individu: <ul style="list-style-type: none"> • Aktifitas • Pakaian • Adaptasi individu 3. Lokasi Geografis

2.2.1.1. Temperatur udara

Dalam ASHRAE (1989) temperatur udara merupakan temperatur di sekeliling individu. Bisa dikatakan salah satu faktor utama dari kenyamanan termal. Terdapat dua macam suhu udara menurut Frick (2008) yaitu suhu udara biasa (Dry Bulb Temperature) dan suhu udara rata-rata (Mean Radiant Temperature). Di daerah tropis, perbedaan suhu antara siang dan malam relatif tidak terlalu besar, akan tetapi nila tiba-tiba terjadi hujan dan terjadi pendinginan pada permukaan yang terkena radiasi matahari maka dapat memungkinkan terjadi perbedaan suhu sebesar 40°C – 50°C dalam waktu yang singkat.

Khatulistiwa merupakan daerah yang banyak menerima radiasi matahari. Panas tertinggi dicapai kira-kira 2 jam setelah tengah hari, karena pada saat itu radiasi matahari sudah bergabung dengan temperatur udara yang sudah tinggi. Suhu tertinggi pada 1-2jam setelah posisi matahari tertinggi, dan suhu terendah sekitar 1-2 jam sebelum matahari terbit. Suhu sudah mulai naik lagi sebelum matahari terbit disebabkan oleh penyebaran radiasi pada langit. (Lippsmeier, 1994)

2.2.1.2. Kelembaban Udara

Kelembaban relatif adalah perbandingan antara jumlah uap air pada udara dengan jumlah maksimum uap air yang udara bisa tampung pada temperatur tersebut. Lingkungan yang mempunyai kelembaban

relatif tinggi mencegah penguapan keringat dari kulit. Di lingkungan yang panas, semakin sedikit keringat yang menguap karena kelembaban tinggi, sehingga kegerahan bagi individu yang berada di lingkungan tersebut (ASHRAE 1989).

Lippsmeier (1994) mengatakan bahwa kelembaban udara terdapat dua yaitu: kelembaban relatif dan kelembaban mutlak/absolut. Kelembaban relatif menunjukkan perbandingan antara tekanan uap air yang ada terhadap tekanan uap air maksimum yang mungkin (derajat kejenuhan) dalam kondisi temperatur udara tertentu, dinyatakan dalam persen. Sedangkan kelembaban absolut/mutlak adalah kadar air dari udara, dinyatakan dalam gram per kilogram udara kering.

Menurut ASHRAE Standart 55 – 2004 didapatkan bahwa zona nyaman tidak memiliki kondisi kelembaban minimum, namun memiliki batas kelembaban maksimum 90%, baiknya adalah berkisar antara 10% - 90%.

2.2.1.3. Kecepatan / Pergerakan Angin

Kecepatan angin merupakan faktor yang penting dalam kenyamanan termal. Udara yang tidak bergerak dalam ruangan tertutup akan menyebabkan pengguna ruangan merasa kaku ataupun berkeringat (ASHRAE 1989). Pergerakan udara terjadi karena adanya pemanasan lapisan-lapisan udara yang berbeda-beda. Skalanya berkisar antara angin

sepoi-sepoi sampai dengan angin topan, yakni kekuatan angin 0 – 12 (Skala Beaufort).

Adanya pergerakan udara akan membantu dalam proses penguapan yang dapat menurunkan suhu udara. Semakin cepat pergerakan udaranya maka akan semakin besar pula panas yang dilepaskan (Frick & Suskiyatno, 2007). ASHRAE Standart 55 – 2004 menyatakan bahwa keadaan nyaman dalam ruangan adalah dengan kecepatan udara lebih dari 0,2 m/s dan kurang dari 0,8 m/s.

Untuk pengukuran kecepatan angin, digunakan skala beaufort pada tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Skala Beaufort
Sumber: ustadzklimat.blogspot.com

Skala Beaufort	Tingkat an	Kecepatan (knot)	Kecepatan (m/det)	Kecepatan (km/jam)	Tanda-tanda di Darat
0	Tenang	< 1	0-0,2	< 1	Tenang, asap mengepul vertical
1	Teduh	1-3	0,3-1,5	1-5	Asap mengepul miring, tetapi alay anemometer tidak berputar
2	Sepoi lemah	4-6	1,6-3,3	6-11	Terpaan angin terasa di muka, anemometer berputar perlahan
3	Sepoi lembut	7-10	3,4-5,4	12-19	Daun-daun kecil di pohon bergerak; bendera dapat berkibar
4	Sepoi Sedang	11-16	5,5-7,9	20-28	Debu dan kertas dapat terbang; ranting pohon bergerak
5	Sepoi segar	17-21	8,0-10,7	29-38	Pohon-pohon kecil terlihat condong. Genangan air di tanah terlihat berombak kecil
6	Sepoi kuat	22-27	10,8-13,8	39-49	Batang pohon terlihat bergerak; suara berdecing dari kawat telpon dapat terdengar; payung dapat terangkat
7	Angin ribut lemah	28-33	13,9-17,1	50-61	Pohon-pohon bergerak; berjalan terasa berat
8	Angin ribut	34-40	17,2-20,7	62-74	Batang pohon dapat patah, sampai pohon tumbang
9	Angin ribut kuat	41-47	20,8-24,4	75-88	Dapat membawa kerusakan cerobong; pot-pot berterbangan
10	Badai	48-55	24,5-28,4	89-102	Kerusakan lebih besar, tetapi di darat jarang terjadi
11	Badai amuk	56-63	28,5-32,6	103-117	Kerusakan lebih berat, tetapi sangat jarang terjadi di darat
12	Topan	> 63	> 32,6	> 117	Hampir tidak pernah terjadi

2.2.1.4. Insulasi Pakaian

Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh efek insulasi pakaian yang kita kenakan. Pakaian mengurangi pelepasan panas tubuh. Karena itu, pakaian diklasifikasikan berdasarkan pada nilai insulasinya. Satuan yang biasa digunakan untuk pengukuran insulasi pakaian adalah Clo. Batas nyaman untuk pakaian adalah $n = 0,5$ Clo. Total nilai Clo bisa dihitung dengan menjumlahkan nilai Clo untuk setiap jenis pakaian (ASHRAE 1989)

Tabel 2.3 Nilai Insulasi Pakaian
Sumber: SNI 03-6572-2001

Pria	clo	Wanita	clo
Singlet tanpa lengan	0,06	Kutang dan celana dalam	0,05
Kaos berkerah	0,09	Rok dalam - setengah	0,13
Celana dalam	0,05	Rok dalam - penuh	0,19
Kemeja, ringan lengan pendek	0,14	Blus - ringan	0,2 (a)
Kemeja, ringan lengan panjang	0,22	Blus - berat	0,29 (a)
Waistcoat - ringan	0,15	Pakaian - ringan	0,22 (a,b)
Waistcoat - berat	0,29	Pakaian - berat	0,7 (a,b)
Celana - ringan	0,26	Rok - ringan	0,1 (b)
Celana - berat	0,32	Rok - berat	0,22 (b)
Sweater - ringan	0,2 (a)	Celana panjang wanita - ringan	0,26
Sweater - berat	0,37 (a)	Celana panjang wanita - berat	0,44
Jacket - ringan	0,22	Sweater - ringan	0,17 (a)
Jacket - berat	0,49	Sweater - berat	0,37 (a)
Kaos tumit	0,04	Jacket - ringan	0,17
Kaos dengkul	0,10	Jacket - berat	0,37
Sepatu	0,04	Kaos kaki panjang	0,01
Sepatu bot	0,08	Sandal	0,02
		Sepatu	0,04
		Sepatu bot	0,08

Catatan:

- a) Dikurangi 10% jika tanpa lengan atau lengan pendek
- b) Ditambah 5% jika panjangnya dibawah dengkul, dikurangi 5% jika diatas dengkul

2.2.1.5. Tingkat Metabolisme

Tingkat metabolisme merupakan panas yang dihasilkan di dalam tubuh sepanjang beraktivitas. Semakin banyak melakukan aktivitas fisik,

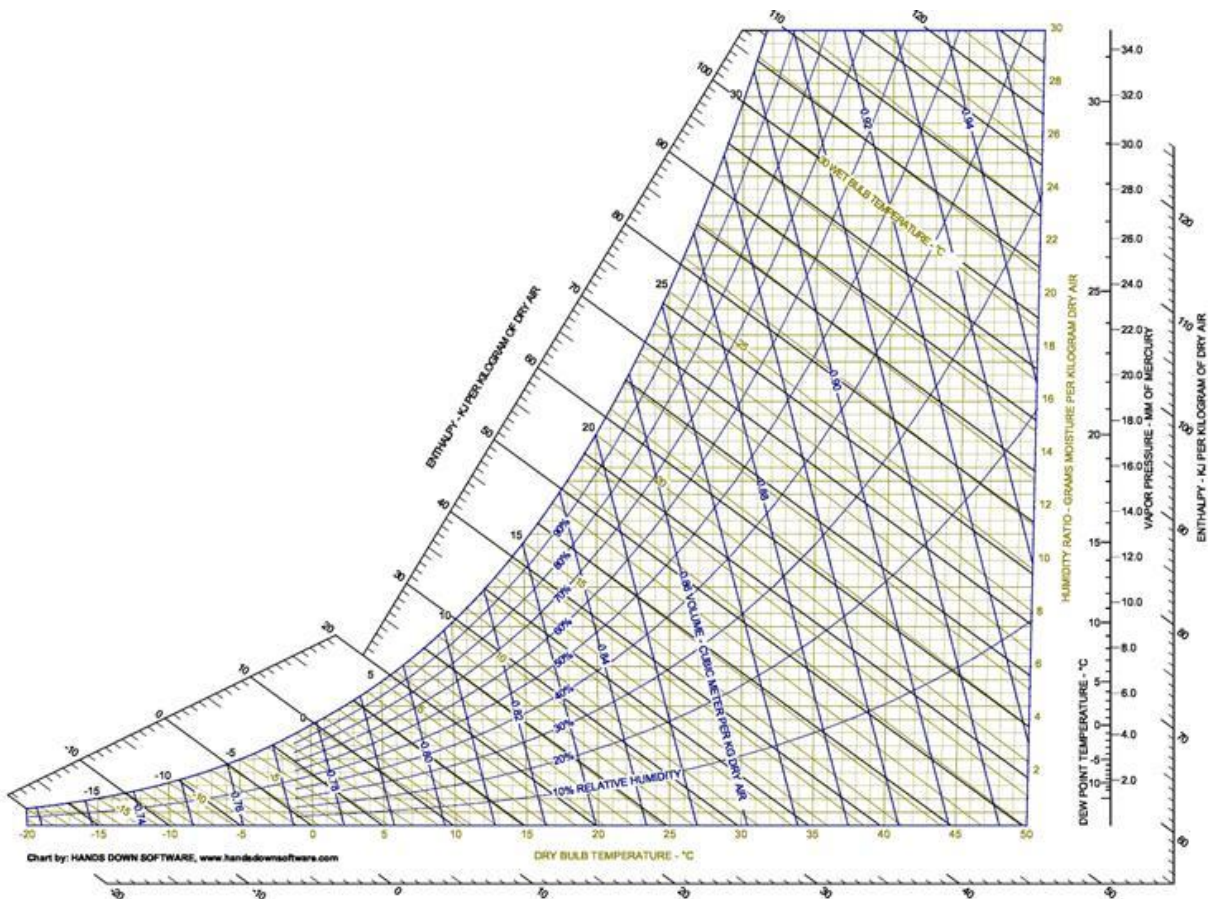
semakin banyak panas yang dibuat. Semakin banyak panas yang dihasilkan tubuh, semakin banyak panas yang perlu dihilangkan agar tubuh tidak mengalami *overheat*. Metabolisme diukur dalam MET (1 MET = 58 W/m² permukaan tubuh). Manusia dewasa normal memiliki permukaan kulit 1,7 m², dan orang dalam kenyamanan termal dengan tingkat aktivitas 1 MET akan memiliki *heat loss* kira-kira 100 W. Dalam menilai tingkat metabolisme, penting untuk menggunakan rata-rata aktivitas manusia yang telah ditunjukkan dalam 1 jam terakhir.

Tabel 2.4 Nilai MET Berbagai Aktivitas
Sumber: SNI 03-6572-2001

	Btu/(jam-ft ²)	met
Istirahat		
Tidur	13	0,7
Santai	15	0,8
Duduk, tenang	18	1,0
Berdiri rileks	22	1,2
Berjalan pada jalan datar:		
0,89 m/detik	37	2,0
1,34 m/detik	48	2,6
1,79 m/detik	70	3,8
Aktivitas kantor :		
Membaca, duduk	18	1,0
Menulis	18	1,0
Mengetik	20	1,1
Mengarsip, duduk	22	1,2
Mengarsip, berdiri	26	1,4
Berjalan pada jalan datar:	31	1,7
Mengangkat, membungkus	39	2,1
Menyetir atau menerbangkan :		
Mobil	18 ~ 37	1,0 ~ 2,0
Pesawat terbang, rutin	22	1,2
Pesawat terbang, instrumen mendarat	33	1,8
Pesawat terbang, tempur	44	2,4
Kendaraan berat	59	3,2
Lain-lain aktivitas penghuni :		
Memasak	29 ~ 37	1,6 ~ 2,0
Membersihkan rumah	37 ~ 63	2,0 ~ 3,4
Duduk, gerakan berat anggota badan	41	2,2
Pekerjaan mesin:		
Menggergaji (meja gergaji)	33	1,8
Ringan (industri kelistrikan)	37 ~ 44	2,0 ~ 2,4
Berat	37 ~ 44	4,0
Mengangkat tas 50 kg	74	4,0
Mengambil dan pekerjaan mencangkul	74 ~ 88	4,0 ~ 4,8
Lain-lain, aktivitas waktu luang:		
Berdansa, sosial	44 ~ 81	2,4 ~ 4,4
Senam	55 ~ 74	3,0 ~ 4,0
Tenis, tunggal	66 ~ 74	3,6 ~ 4,0
Basket bal	190 ~ 140	5,0 ~ 7,6
Gulat, pertandingan	130 ~ 160	7,0 ~ 8,7

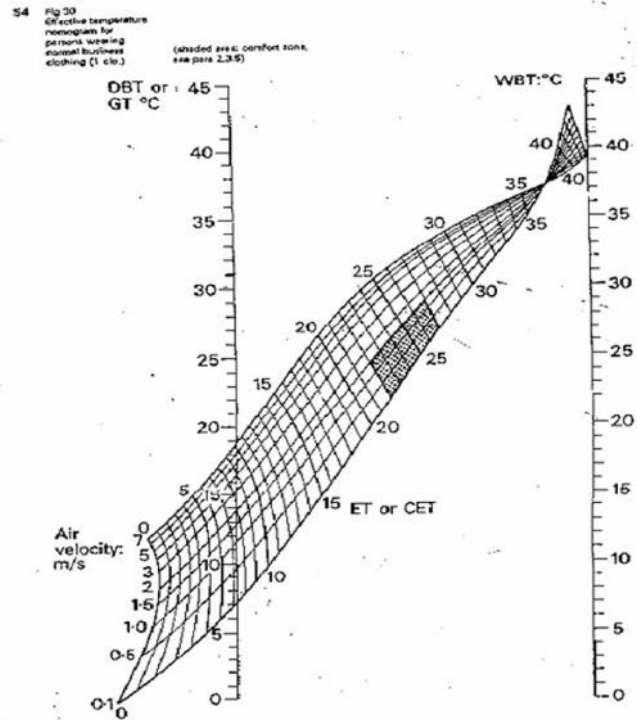
2.2.2. Diagram Dan Batas Kenyamanan Termal

Houghton dan Yaglou (dalam *'Determining Lines of Equal Comfort', Transactions of America Society of Heating and Ventilating Engineers* Vol. 29, 1923) menyatakan kenyamanan sebagai fungsi dari radiasi panas, temperatur, kelembaban udara dan gerakan udara yang disebut sebagai Temperatur Efektif (TE).



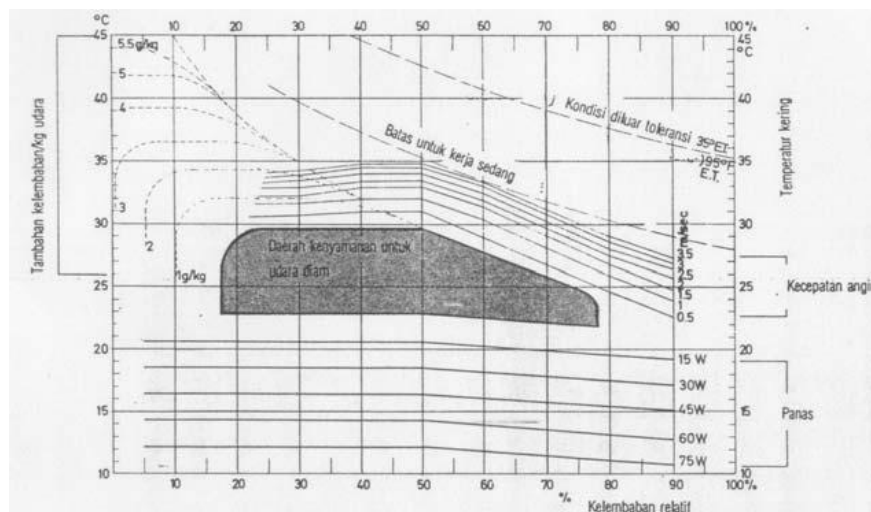
Gambar 2.1 Diagram Psikometrik
Sumber: Lipsmeier 1997

Dengan adanya kecepatan angin maka dapat diketahui nilai temperatur efektif yang didapat melalui hasil pembacaan diagram temperatur efektif dari temperatur basah dan kecepatan angin.



Gambar 2.2 Diagram Temperatur Efektif
 Sumber: Lippsmeier 1997

Kemudian dari kedua diagram diatas, dapat diketahui kenyamanan thermalnya melalui diagram kenyamanan sebagai fungsi dari temperatur, kelembaban dan kecepatan angin sebagai berikut.



Gambar 2.3 Diagram Kenyamanan
 Sumber: Lippsmeier 1997

Bila kita telah menemukan temperatur efektif dari diagram diatas, maka diperlukan adanya batas kenyamanan untuk menentukan mana batas yang cocok di daerah penelitian.

Tabel 2.5 Batas-batas Kenyamanan Termal dari Berbagai Penelitian
Sumber: Lippsmeier, 1997

Pengarang	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30°LU)	Peneliti	20,5°C – 24,5°C TE
Rao	Calcutta (22°LU)	India	20°C – 24,5°C TE
Webb	Singapura	Malaysia	25°C - 27°C TE
	Khatulistiwa	Cina	
Mom	Jakarta (6°LS)	Indonesia	20°C - 26°C TE
Ellis	Singapura	Eropa	22°C - 26°C TE
	Khatulistiwa		

Dari berbagai penelitian diatas, batas kenyamanan yang paling cocok digunakan dalam penelitian peneliti adalah batas kenyamanan Mom-Wiesebron. Berikut adalah batas kenyamanan Mom-Wiesebron yang lebih mendetail.

Tabel 2.6 Kriteria Zona Kenyamanan Mom-Wiesebron
Sumber: Soegijanto 1998

Kriteria	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
▪ Sejuk-Nyaman Ambang atas	20,5°C – 22,8°C	50%
	23°C	80%
▪ Nyaman-Optimal Ambang atas	22,8°C – 25,8°C	70%
	28°C	
▪ Panas-Nyaman Ambang atas	25,8°C – 27,1°C	60%
	31°C	

2.3. PMV (Predicted Mean Vote) dan PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)

Predicted mean vote (PMV) merupakan index yang diperkenalkan oleh Fanger (1970) untuk mengindikasikan rasa dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia. PMV merupakan index yang memperkirakan respon sekelompok besar manusia pada skala sensasi termal ASHRAE berikut; +3 hot (panas), +2 warm (hangat), +1 slightly warm (agak hangat), 0 neutral (netral), -1 slightly cool (agak dingin), -2 cool (sejuk), dan -3 cold (dingin).

Nilai PMV (Predicted Mean Vote) menentukan jangkauan sensasi yang dirasakan orang terhadap lingkungan. Indeks PMV ini berkisar dari -3 (dingin) sampai dengan +3 (panas). Nilai nol adalah netralitas termal tapi bukan berarti kenyamanan termal. Persamaan PMV untuk kenyamanan termal merupakan steady-state model. Nilai PMV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (telah dimodifikasi dalam satuan yang dipakai dalam aplikasi PMV digital).

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & 0,303e^{-0,036} \times 58M + 0.028 \times [((M - W) \times 58) - 3.05 \times 10^{-3} \\ & \{5733 - 6.99 ((M - W) \times 58) - 1014.19Pa\} - 0.42 \{((M - W) \times \\ & 58) - 58.15 - 1.7 \times 10^{-5} \times 58 M(5867 - 1014.19Pa) - 0.0014 \\ & \times 58M (34 - ta) - 3.96 \times 10^{-8} fd \{td + 273\}^4 - (tr + 273)^4\} - \\ & fdhc (td - ta)] \end{aligned}$$

Dimana,

$$td = 35.7 - 0.028 ((M - W) \times 58) - 0.155 Id [3.96 \times 10^{-8} fd \{td + 273\}^4$$

$$[(tr + 273)^4] + fdhd (td - ta)$$

$$hc = \max (2.38 (td - ta) 0.25 , 12.1 V)$$

$$fc = 1.0 + 0.2 I_d \text{ untuk } I_d < 0,5 \text{ clo}$$

$$1.05 + 0.1 I_d \text{ untuk } I_d > 0,5 \text{ clo}$$

Keterangan:

M : Tingkat aktivitas (met)

W : Aktivitas luar (met), 0 untuk sebagian besar aktivitas

fcl : Rasio permukaan orang ketika berpakaian, dan tidak berpakaian

tcl : Temperatur permukaan pakaian (°C)

tr : Temperatur radiasi (°C)

hc : Konvektif heat transfer dalam (W/m² K)

ta : Temperatur udara (°C)

Pa : Kelembaban udara (%)

Icl : Nilai insulasi pakaian (clo)

V : Kecepatan aliran udara (m/s)

PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) merupakan banyaknya orang (dalam presentase) yang tidak puas terhadap lingkungan. Semakin besar presentase PPD makin banyak yang tidak puas. Fanger (1982) menghubungkan nilai PMV dan PPD seperti formula :

$$PPD = 100 - 95 \exp - (10.03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)$$

Berdasarkan ASHRAE Standart 55 – 2004 terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5 sedangkan nilai PPD <10% atau persentase responden yang nyaman mencapai 90%.

2.4. Bukaan / Ventilasi

Bukaan dapat mempengaruhi pergerakan angin. Bukaan yang menyediakan ruang untuk terjadinya pertukaran udara disebut dengan ventilasi. Pada selubung bangunan, terdapat beberapa elemen yang dapat menjadi ventilasi misalnya atap, jendela, dinding yang tidak masif, bahkan lantai.



Gambar 2.4 Berbagai Jenis Ventilasi (ki-ka) ventilasi melalui atap dan dinding tak masif, ventilasi melalui jendela, ventilasi melalui atap, jendela, dan lantai
Sumber: Frick,2007

Dalam merancang bukaan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu letak inlet – outlet dan bagaimana orientasinya terhadap arah angin, baik secara vertikal maupun horizontal. Dalam bukunya, Boutet (1987) cukup banyak memberikan prinsip-prinsip bukaan dalam berbagai alternatif. Bukaan berfungsi untuk ventilasi, atau sebagai media keluar masuknya udara. Oleh karena itu, selain peletakannya perlu pula diperhatikan bagaimana dimensi yang sesuai. Terdapat rumusan yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan ventilasi dan ruang gerak manusia. (Prof. Ir. Hardjoso Prodjopangarso 1979)

- a. Minimal kebutuhan oksigen : 8 -20% dari udara.

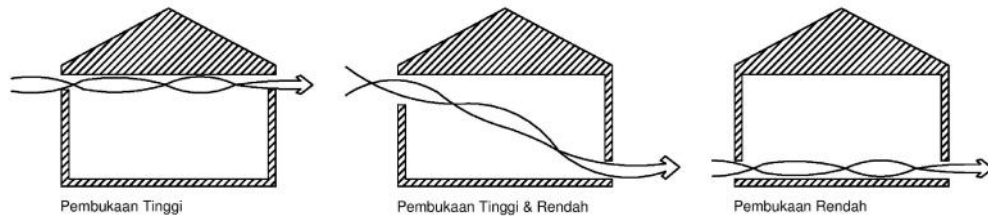
- b. Kebutuhan udara tiap jam per orang : 500 liter.
- c. Ruang gerak manusia: $10\text{m}^3/\text{orang}$, sehingga minimal volume ruang untuk n orang adalah $n \times 10\text{m}^3$.
- d. Luas lubang ventilasi: kebutuhan udara per jam/kecepatan angin rata-rata per jam. Contoh: Untuk sebuah ruang yang dapat memuat 10 orang, dibutuhkan volume udara $500 \text{ liter/orang} \times 10 \text{ orang} = 5000 \text{ liter}$. Dengan asumsi kecepatan angin rata-rata = $0,1 \text{ m/det}$ (360 m/jam), maka dapat diketahui bahwa :
 - a. Ruang gerak manusia : $10\text{m}^3 \times 10 = 100\text{m}^3$.
 - b. Luas lubang ventilasi: $5000/360 = 15\text{m}^2$.

2.4.1. Penempatan Bukaannya

Penempatan bukaan-bukaan dan hubungannya antara satu sama lain serta orientasi terhadap arah datangnya angin dapat memberikan hasil yang lebih baik atau buruk. Berlawanan dengan pendapat umum, aliran udara yang terbaik tidak selalu terjadi jika angin datang tegak lurus terhadap arah bukaan. Dalam beberapa kasus, kondisi yang lebih baik dapat tercapai bila angin datang dengan sudut tertentu menuju bukaan masuk.

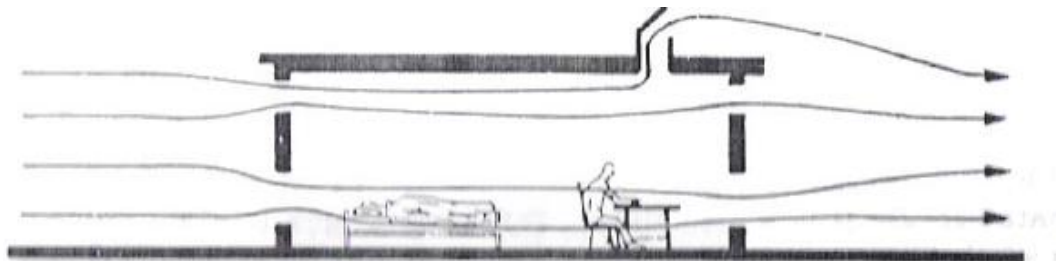
Bila posisi bukaan keluar tetap, sedangkan bukaan masuk ditempatkan tinggi, sedang atau rendah, pola aliran udara yang terjadi bervariasi. Bukan hanya dipengaruhi peletakan saja, tetapi juga

pengaturan dan tipe-tipe dari bukaan masuk dapat mempengaruhi pola aliran dalam bangunan.(Kukreja 1997)



Gambar 2.5 Berbagai Letak Ketinggian Bukaan
Sumber: Kukreja, 1997

Menurut Lechner (2002) agar nyaman, jendela diletakkan setara dengan ketinggian penghuni di dalam ruangan. Tambahan jendela tinggi juga harus diperhatikan untuk mengeluarkan udara panas yang sering terkumpul di dekat langit-langit. Bukaan tinggi juga penting untuk pendinginan struktur dengan cara konveksi.



Gambar 2.6 Kombinasi Bukaan
Sumber: Lechner, 2002

Jika dibuat kesimpulan, hal-hal berikut harus dipertimbangkan untuk merancang pola aliran udara: (Kukreja, 1997)

1. Lokasi dan tipe bukaan masuk akan menentukan pola aliran udara dalam bangunan.

2. Lokasi dan tipe bukaan keluar hanya berpengaruh sedikit terhadap pola aliran udara.
3. Udara mencapai kecepatan tertinggi dalam bangunan saat bukaan masuk dirancang untuk mengalirkan udara menuju zona-zona berkegiatan dan bila ukuran bukaan keluar besar.
4. Perubahan arah aliran udara cenderung menghambat kecepatan aliran udara, maka dari itu, perubahan aliran udara secara tiba-tiba sebisa mungkin dihindari.
5. Pengolahan lahan disekitar bukaan masuk bisa menghambat atau membantu ventilasi alami.

2.5. Orientasi Bangunan

Menurut Lechner (2002) sebaiknya sisi terpendek bangunan yang berorientasi ke arah terbit dan tenggelam matahari. Hal ini karena ketika *fasade* terkena sinar matahari maka terjadi radiasi panas yang dapat meningkatkan temperatur dalam ruang. Sisi bangunan terpanjang sebaiknya berorientasi ke arah datangnya angin, posisi yang memungkinkan terjadinya *cross ventilation* selama 24 jam tanpa peralatan mekanik.

2.6. Ruang Terbuka Hijau

Ruang terbuka hijau dalam hal ini adalah ruang terbuka yang ditutupi oleh vegetasi tidak termasuk ruang terbuka yang tertutup *paving*

blok. Ruang terbuka hijau akan sangat berperan dalam menciptakan kenyamanan

termal karena (1) menyaring radiasi panas matahari yang langsung jatuh di atasnya sehingga dapat menurunkan temperatur udara lingkungan selanjutnya temperatur udara lingkungan akan mempengaruhi temperatur udara dalam ruang; (2) memproduksi udara segar dan sehat karena banyak mengandung unsur O₂. (Harimu, dkk, 2012)

2.7. Hipotesa

Dari kajian teori yang didapat, maka hipotesa untuk penelitian ini adalah ventilasi bawah mempengaruhi secara signifikan nilai PMV pada Gereja Katedral Semarang. Dengan adanya ventilasi bawah pada Gereja Katedral Semarang ini kenyamanan termal akan memasuki zona nyaman dan indeks PMV akan cenderung menurun (cenderung ke arah dingin).