

**Perubahan iklim** telah membangkitkan kesadaran dunia untuk menjaga kelestarian alam dan lingkungan. Fenomena ini membuktikan kebenaran dokumen *'Our Common Future'* pada tahun 1987 oleh *The World Commission on Environmental and Development (WCED)*, sebuah lembaga yang didirikan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Pada konferensi Paris tahun 2015, negeri-negara telah sepakat dengan 17 target pembangunan berkelanjutan atau biasa dikenal *SDGs-17 (Sustainable Development Goals)*. Konsep ini mendorong perubahan paradigma mendasar dalam pembangunan lingkungan. Sejarah kenyamanan datang sebagai penemuan riset yang berbeda. Misalkan dibidang militer, ketika diperlukan untuk memastikan bahwa perwira dan prajurit dapat terus bekerja di kapal dan pesawat bahkan di lingkungan dengan suhu tinggi. Kenyamanan adalah hasil interaksi pertukaran fisik, fisiologis, psikologis, sosial dan budaya. Kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal dan dinilai dengan evaluasi subjektif. Kondisi lingkungan yang diperlukan untuk kenyamanan tidak sama untuk setiap pengguna atau penghuni. Sensasi termal adalah perasaan sadar yang umumnya digolongkan ke dalam kategori, dingin, sejuk, agak dingin, netral, sedikit hangat, hangat, dan panas. Hal ini membutuhkan evaluasi subjektif. Koreksi kenyamanan termal perlu dilakukan untuk menjaga nilai prediksi kenyamanan sesuai dengan kondisi sebenarnya.

## PREDIKSI KENYAMANAN LINGKUNGAN DAN BANGUNAN

*"If architectural design is to serve the future users of the product, the building, it must provide (inter alia) a favourable thermal environment." - Szokolay.*

# PREDIKSI KENYAMANAN

*Lingkungan dan Bangunan*

*Akbar Rahman*

## DAFTAR ISI

Halaman sampul	
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vii
<b>Bilah 1 KESEIMBANGAN LINGKUNGAN DAN IKLIM INDONESIA</b>	
1. Pemanasan Global dan Perubahan Iklim	1
2. Iklim Tropis Indonesia	4
3. Karakteristik Iklim Tropis Indonesia	7
<b>Bilah 2 UNSUR-UNSUR KENYAMANAN DALAM ARSITEKTUR</b>	
1. Kenyamanan Penerangan	10
2. Kenyamanan Penghawaan	15
3. Kenyamanan Pendengaran	19
<b>Bilah 3 DASAR-DASAR KENYAMANAN TERMAL</b>	
1. Pengaruh Iklim pada Kenyamanan Termal	23
2. Kenyamanan Termal di Ruang Luar	27
3. Elemen Arsitektur Penunjang Kenyamanan	29
<b>Bilah 4 STANDAR KENYAMANAN TERMAL LINGKUNGAN</b>	
1. Sejarah Penelitian Termal	33
2. Standar Kenyamanan Termal ASHRAE	36
3. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia	40
4. Kalkulator Kenyamanan Termal	44
5. Kalkulator Kenyamanan Termal Berbasis Web	46
<b>Bilah 5 METODE PENGUKURAN KENYAMANAN PADA LINGKUNGAN</b>	
1. Temperatur Efektif (ET)	48

2. Temperatur Efektif Terkoreksi (CET)	49
3. Temperatur Bola Basah (WBGT)	50
4. Operative Temperature (OT)	51
5. Indeks Kenyamanan Khatulistiwa (ECI)	53
6. Tropical summer index (Tsi)	56
7. Predicted mean vote (PMV)	57
8. New Effective Temperature (ET*)	59
9. Standard Effective Temperature (SET)	61
<b>Bilah 6 TEKNIK PENGUKURAN DAN STUDI KASUS</b>	
1. Prosedur dan Langkah-langkah Pengukuran	65
2. Contoh Hasil Pengukuran dan Simulasi Radiasi	70
3. Langkah-langkah Perhitungan ET	73
4. Studi Kasus Hasil Pengukuran dan Perhitungan ET	76
<b>Bilah 7 PENUTUP: KOREKSI KENYAMANAN LINGKUNGAN DAN BANGUNAN</b>	
1. Kesimpulan	80
2. Saran	81
<b>Daftar Pustaka</b>	83

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, puji syukur Kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan buku berjudul 'PREDIKSI KENYAMANAN LINGKUNGAN DAN BANGUNAN' dengan lancar tanpa kendala berarti.

Buku ini ditulis sebagai sarana pengetahuan tentang kenyamanan dalam proses perancangan maupun evaluasi pasca huni. Aspek kenyamanan lingkungan dan bangunan perlu diperhatikan untuk meningkatkan mutu desain dan kualitas bangunan. Diharapkan, buku ini mampu membantu perencana bangunan dalam merancang dan mengevaluasi desain serta bangunannya. Keberhasilan buku ini tentu tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada keluarga yang selalu mendukung dan memberikan do'a terbaik dalam setiap proses yang penulis lalui. Ucapan terima kasih juga penulis sampai kepada Penerbit yang bersedia mewujudkan tulisan ini menjadi sebuah buku yang diharapkan bisa bermanfaat bagi para arsitek atau perencana dan calon arsitek. Dan beribu ucapan terima kasih pada semua pihak yang turut mendukung penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Buku ini tidak luput dari kekurangan dan kesalahan. Jika pembaca menemukan kesalahan apapun, penulis mohon maaf setulusnya. Selalu ada kesempatan untuk memperbaiki setiap kesalahan, karena itu, dukungan berupa kritik & saran akan selalu penulis terima dengan tangan terbuka.

Banjarmasin, 3 September 2021

Penulis,

## DAFTAR ISI

Halaman sampul	
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vii
<b>Bilah 1 KESEIMBANGAN LINGKUNGAN DAN IKLIM INDONESIA</b>	
1. Pemanasan Global dan Perubahan Iklim	1
2. Iklim Tropis Indonesia	4
3. Karakteristik Iklim Tropis Indonesia	7
<b>Bilah 2 UNSUR-UNSUR KENYAMANAN DALAM ARSITEKTUR</b>	
1. Kenyamanan Penerangan	10
2. Kenyamanan Penghawaan	15
3. Kenyamanan Pendengaran	19
<b>Bilah 3 DASAR-DASAR KENYAMANAN TERMAL</b>	
1. Pengaruh Iklim pada Kenyamanan Termal	23
2. Kenyamanan Termal di Ruang Luar	27
3. Elemen Arsitektur Penunjang Kenyamanan	29
<b>Bilah 4 STANDAR KENYAMANAN TERMAL LINGKUNGAN</b>	
1. Sejarah Penelitian Termal	33
2. Standar Kenyamanan Termal ASHRAE	36
3. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia	40
4. Kalkulator Kenyamanan Termal	44
5. Kalkulator Kenyamanan Termal Berbasis Web	46
<b>Bilah 5 METODE PENGUKURAN KENYAMANAN PADA LINGKUNGAN</b>	
1. Temperatur Efektif (ET)	48

2. Temperatur Efektif Terkoreksi (CET)	49
3. Temperatur Bola Basah (WBGT)	50
4. Operative Temperature (OT)	51
5. Indeks Kenyamanan Khatulistiwa (ECI)	53
6. Tropical summer index (Tsi)	56
7. Predicted mean vote (PMV)	57
8. New Effective Temperature (ET*)	59
9. Standard Effective Temperature (SET)	61
<b>Bilah 6 TEKNIK PENGUKURAN DAN STUDI KASUS</b>	
1. Prosedur dan Langkah-langkah Pengukuran	65
2. Contoh Hasil Pengukuran dan Simulasi Radiasi	70
3. Langkah-langkah Perhitungan ET	73
4. Studi Kasus Hasil Pengukuran dan Perhitungan ET	76
<b>Bilah 7 PENUTUP: KOREKSI KENYAMANAN LINGKUNGAN DAN BANGUNAN</b>	
1. Kesimpulan	80
2. Saran	81
<b>Daftar Pustaka</b>	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peningkatan temperatur permukaan bumi	2
Gambar 2. Peta zona iklim	4
Gambar 3. Pengelompokan iklim berdasar jenis vegetasinya	6
Gambar 4. Iklim muson	9
Gambar 5. Iklim laut menyebabkan curah hujan tinggi	9
Gambar 6. Proses masuknya penerangan alami ke dalam ruangan	12
Gambar 7. Proses konduksi ke dalam ruangan	16
Gambar 8. Proses konveksi ke dalam ruangan	17
Gambar 9. Proses radiasi ke dalam ruangan	18
Gambar 10. Sistem ventilasi silang untuk penghawaan alami	19
Gambar 11. Sifat bunyi dari sumber hingga kependengar	21
Gambar 12. Pengaruh radiasi matahari pada objek bangunan dan lingkungan	23
Gambar 13. Hubungan temperatur, kelembaban relative dan dan titik embun	24
Gambar 14. Ilustrasi elemen ruang luar yang dapat menunjang kenyamanan beraktivitas di luar ruangan	28
Gambar 15. Perbandingan temperatur material	32
Gambar 16. Standar <i>Operative Temperature</i>	38
Gambar 17. Zona nyaman pada grafik <i>psychrometric</i>	39
Gambar 18. Standar kenyamanan SNI 03-6572-2001	41
Gambar 19. Grafik Temperatur efektif	42
Gambar 20. Visualisasi standar pakaian dalam perhitungan	43
Gambar 21. Perangkat lunak <i>CYTSOFT Psychrometric Chart</i>	45
Gambar 22. Hubungan antara WBGT dan batas paparan panas yang diizinkan	51
Gambar 23. Grafik indeks kenyamanan khatulistiwa	55
Gambar 24. Standar kenyamanan <i>tropical summer index</i>	57
Gambar 25. Standar kenyamanan <i>PMV</i> berdasar ASHRAE	58
Gambar 26. Standar metabolisme tubuh berdasarkan aktivitas	59
Gambar 27. Grafik standar kenyamanan ET*	60
Gambar 28. Teknik pemasangan alat saat pengukuran	67
Gambar 29. Contoh alat-alat pengukuran	68
Gambar 30. Hasil pengukuran radiasi matahari	70

Gambar 31. Contoh hasil pengukuran temperature dan kelembaban relatif	71
Gambar 32. Hasil simulasi kondisi termal di lokasi pengukuran	73
Gambar 33. Langkah-langkah perhitungan WBT dengan diagram <i>Psychrometric</i>	74
Gambar 34. Langkah-langkah perhitungan WBT dengan aplikasi <i>sugar Engineers</i>	75
Gambar 35. Langkah-langkah perhitungan ET dengan diagram ET 0.5 clo	76
Gambar 36. Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 1	77
Gambar 37. Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 2	78
Gambar 38. Contoh hasil pengukuran sebelum dikonversi ke nilai SET	78
Gambar 39. Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 3	79
Gambar 40. Contoh hasil simulasi MRT untuk mencocokkan nilai kenyamanan termal pengukuran	82

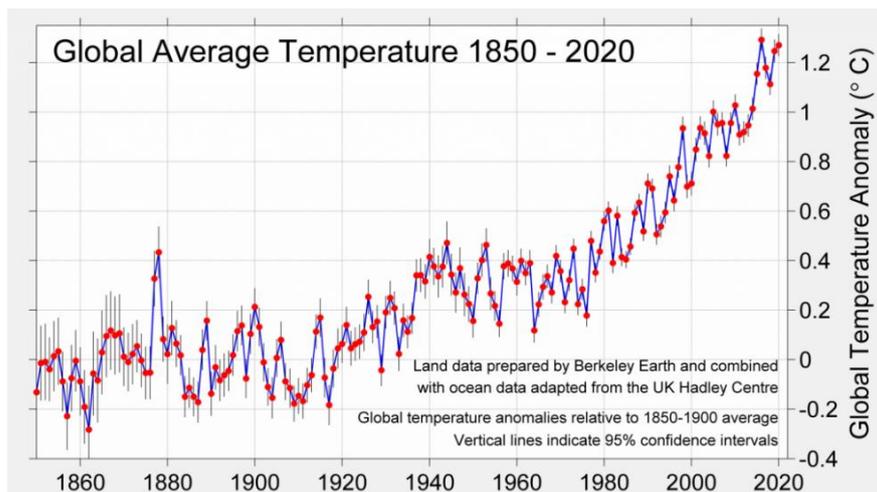
## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Klasifikasi iklim	5
Tabel 2. Standar kenyamanan visual	13
Tabel 3. Standar tingkat kebisingan	22
Tabel 4. Kecepatan angin dan kenyamanan termal	27
Tabel 5. Penelitian kenyamanan termal	35
Tabel 6. Tingkat metabolisme tubuh terhadap aktivitas	59
Tabel 7. SET terhadap sensasi dan fisiologis	63

## Bilah 1

**KESEIMBANGAN LINGKUNGAN DAN IKLIM INDONESIA****1. Pemanasan Global dan Perubahan Iklim**

*Global warming* atau pemanasan global telah membuat permukaan bumi terus meningkat dan berdampak perubahan iklim. Temperatur rata-rata permukaan global naik  $0,6^{\circ}\text{C}$  menjadi  $0,9^{\circ}\text{C}$  antara tahun 1906 dan 2005, dan laju kenaikan temperatur hampir dua kali lipat dalam 50 tahun terakhir. Kondisi ini memicu terjadinya perubahan iklim. Hasil yang lebih tidak pasti — tetapi mungkin — dari peningkatan temperatur global termasuk peningkatan risiko kekeringan dan peningkatan intensitas badai, termasuk siklon tropis dengan kecepatan angin yang lebih tinggi, monsun Asia yang lebih basah, dan badai lintang tengah yang lebih intens. Di banyak negara, telah terjadi dampak bencana dari pemanasan global dan perubahan iklim. Meningkatnya curah hujan dan musim kemarau yang panjang telah menyebabkan banjir dan kekeringan di beberapa negara.



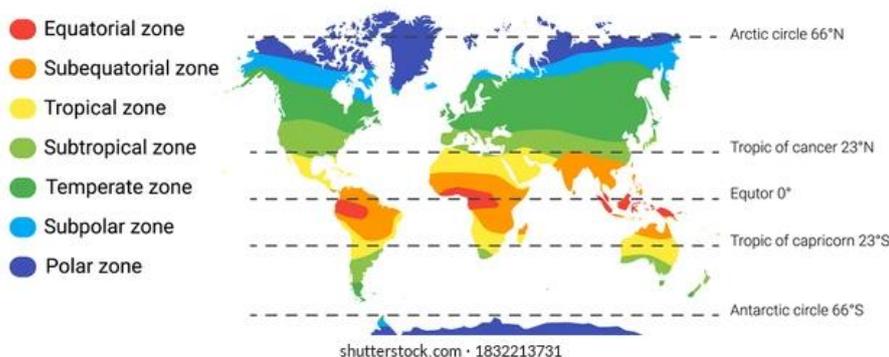
**Gambar 1.** Peningkatan temperatur permukaan bumi (source: Berkley Earth)

Perubahan iklim telah membangkitkan kesadaran dunia untuk menjaga kelestarian, dan membuktikan kebenaran dokumen '*Our Common Future*' pada tahun 1987 oleh *The World Commission on Environmental and Development* (WCED), sebuah lembaga yang didirikan oleh

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Pada konferensi Paris tahun 2015, negeri-negara telah sepakat dengan 17 target pembangunan berkelanjutan atau biasa dikenal *SDGs-17 (Sustainable Development Goals)*. Konsep ini mendorong perubahan paradigma mendasar dalam pembangunan lingkungan. Fokus pada pengembangan pemerataan antargenerasi dalam berbagai kegiatan pembangunan. Paradigma baru dalam teori pembangunan berkelanjutan juga mempengaruhi ilmu arsitektur. Pembangunan berkelanjutan memanfaatkan praktik dan inovasi keberlanjutan, *platform* yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan binaan yang mengurangi konsumsi energi, memerangi degradasi lingkungan, dan menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk hidup melalui pilar-pilar keberlanjutan seperti yang tertuang dalam SDGs dengan 17 tujuan, 169 target dan 231 indikator.

Pengurangan penggunaan sumber energi tak terbarukan menjadi pilihan dalam desain arsitektur. Hemat energi dan efisiensi energi dalam lingkungan dan bangunan menjadi konsep yang populer bagi para arsitek saat ini. Penghematan energi tidak hanya diterapkan pada bangunan, tetapi juga pada tata kota dan desain perkotaan, demikian juga efisiensi energinya, banyak riset mengangkat persoalan ini. Terbukti bahwa: *Urban heat island* atau pulau panas perkotaan dan pemanasan global meningkatkan temperatur lingkungan disekitar permukaan wilayah kota. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh jumlah penduduk perkotaan, dan kota sebagai pusat kegiatan. Peningkatan temperatur permukaan kota akibat aktivitas penduduk, harus mendapatkan solusi agar penggunaan energi fosil dapat dikurangi. Salah satu solusinya adalah pengembangan ruang terbuka hijau di kawasan kota. Ruang terbuka hijau dapat menurunkan temperatur permukaan kawasan kota.

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang terus berupaya membangun negaranya. Saat ini, pembangunan berkelanjutan sudah menjadi isu utama dalam pembangunan. Efisiensi energi terus dilakukan dengan membuat peraturan dan melalui kebijakan-kebijakan pemerintah. Indonesia telah memiliki peraturan pembangunan wilayah dan kota: 1) Peraturan Penataan Ruang dan 2) Pedoman Penyediaan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan. Demikian juga dengan peraturan tentang bangunan dengan lahirnya Undang-undang Arsitek dan aturan tentang Standar Nasional Indonesia tentang bangunan yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR RI. Kedua regulasi tersebut untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Kota-kota di Indonesia setidaknya memiliki 30% RTH, jika standar minimal tersebut tidak terpenuhi maka akan mendapatkan hukuman. Pada bangunan juga diisyaratkan tentang penggunaan energi yang efisien dan ramah lingkungan. Kondisi ini berdampak baik bagi perkembangan kota dan bangunannya. Pembangunan kota dan isinya wajib memperhatikan keberlanjutan pada proses pelaksanaannya sesuai dengan kondisi lingkungan.



**Gambar 2.** Peta zona iklim (source: Shutterstock)

Indonesia terletak pada 6°LU sampai 11°LS. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis lembab dengan ciri-ciri radiasi matahari tinggi, temperatur udara tinggi, kelembaban tinggi dan

curah hujan tinggi, serta keadaan langit mendung. Di daerah tropis, kondisi kenyamanan termal luar ruangan pada siang hari seringkali jauh di atas standar kenyamanan yang dapat diterima karena radiasi matahari yang intens. Keadaan seperti itu selalu terjadi hampir sepanjang tahun dan berdampak pada lingkungan. Kondisi ini akan terjadi sepanjang tahun, yang mempengaruhi lingkungan mikro, untuk mengendalikan laju kenaikan temperatur lingkungan perlu memperhatikan durasi, intensitas, dan sudut penyinaran matahari.

## 2. Iklim Tropis Indonesia

Aspek iklim dan lingkungan merupakan salah satu hal yang mempengaruhi produk arsitektur. Iklim, atau cuaca rata-rata, dipengaruhi oleh sinar radiasi matahari dalam konteks makro. Kata iklim digunakan oleh para ilmuwan untuk membagi wilayah bumi berdasarkan perbedaan musim yang dialami. Negara-negara dengan dua musim dikelompokkan dalam iklim tropis, dan negara-negara dengan empat musim dikelompokkan ke dalam iklim subtropis, dan negara-negara di luar kelompok itu, dikategorikan sebagai negara dingin. Sementara itu, De Waal (1993) mengklasifikasikan kelompok iklim secara lebih rinci, seperti terlihat pada Tabel: 1.

**Tabel 1.** Klasifikasi iklim

	Atkinson 1950	Dreyfuss 1960	Ayoub 1960	Olgyay 1963	Griffiths 1966	Lippsmeier 1969	Givoni 1969	Koenigsberger 1973	Evans 1980
Tropical island	o				x	o		o	x
Warm humid	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Transit		o							
Monsoon	o	x				x	x	x	x
Monsoon with a cold season									x
Savannah					x	x			
Hot dry (desert)	x	o	x	x	x	x	x	x	x
Maritime desert		o						o	x
Upland	x	o	x		x	o		o	x

x : climate, o : sub-climate

Kata "iklim" berasal dari bahasa Yunani "Klima", yang berarti kemiringan bumi terhadap matahari. Orang Yunani menyadari bahwa iklim sebagian besar merupakan fungsi dari sudut matahari (lintang) dan mereka membagi dunia menjadi zona tropis, zona sedang, dan zona arktik. Iklim suatu wilayah diketahui berdasarkan pengamatan cuaca tahunan selama 10-30 tahun, seperti kelembaban, temperatur, angin, dan curah hujan. Indikasi lain yang dapat digunakan sebagai penentu tipe iklim adalah vegetasi yang mendominasi suatu wilayah, seperti hutan hujan tropis, hutan gugur, dan hutan konifer (Gambar 3). Iklim di suatu wilayah dapat terbentuk karena dua hal yang mempengaruhi, yaitu:

- Rotasi dan revolusi bumi
- Perbedaan garis lintang geografis dan lingkungan fisik

Tropis adalah kata yang berasal dari kata Yunani "tropikos" yang berarti garis balik, meliputi sekitar 40% dari total luas permukaan bumi. Garis-garis tersebut adalah garis lintang 23°27' Utara dan 23°27' Selatan. Daerah tropis didefinisikan sebagai daerah yang terletak di antara garis isotherm 20° di sebelah utara dan selatan bumi.



a) Hutan hujan tropis



b) *deciduous forest*



c) Hutan konifera

**Gambar 3.** Pengelompokan iklim berdasar jenis vegetasinya (Sumber: De Waal)

### 3. Karakteristik Iklim Tropis Indonesia

Para ilmuwan sepakat, temperatur udara suatu wilayah merupakan batas antara iklim tropis dan iklim subtropis. Daerah dengan temperatur rata-rata di atas 20°C dikelompokkan dalam iklim tropis, dan daerah dengan temperatur rata-rata di bawah 20°C dikelompokkan di daerah subtropis.

Karakteristik iklim tropis dapat dijelaskan di bawah ini:

- 1) Terletak di bumi antara 23,5° LU sampai 23,5° LS.
- 2) Rata-rata temperatur tinggi antara 20°C-35°C bahkan dapat mencapai 38°C jika kelembabannya tinggi.
- 3) Perbedaan temperatur tidak terlalu ekstrim antara kondisi minimum dan maksimum.
- 4) Amplitudo temperatur rata-rata tahunan kecil, di daerah khatulistiwa mencapai 1-5°C, tetapi amplitudo harian lebih besar.
- 5) Penguapan air laut yang cukup tinggi menyebabkan banyak awan.
- 6) Curah hujan lebih tinggi dan lebih lama dalam setahun.
- 7) Sepanjang tahun hanya ada dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau.

- 8) Pengaruh revolusi bumi terhadap matahari menyebabkan perubahan arah gerakan angin yang mempengaruhi pergantian musim.
- 9) Tekanan udara harus rendah.
- 10) Daerah beriklim tropis kering lebih banyak sabana.

Iklim Indonesia adalah iklim tropis lembab. Hal ini dikarenakan letak geografis dan bentang alam Indonesia. Indonesia terletak di garis khatulistiwa dan terdiri dari banyak pulau. Sebagai negara kepulauan, sebagian besar daratannya dikelilingi oleh laut. Ciri utamanya, langit hampir mendung sepanjang tahun akibat penguapan air laut yang tinggi sehingga intensitas curah hujan tinggi dan mempengaruhi kelembapan yang tinggi setiap saat. Itulah sebabnya Indonesia memiliki iklim tropis lembab. Berikut ini juga yang mempengaruhi iklim tropis lembab di Indonesia:

- 1) Indonesia terletak di antara dua Samudra dan dua Benua. Kedua samudera tersebut adalah samudera Pasifik dan Hindia sedangkan kedua benua tersebut adalah benua Australia dan benua Asia.
- 2) Nusantara terdiri dari lima pulau besar dan ribuan pulau kecil yang dikelilingi oleh laut dan selat.
- 3) Pegunungan mempengaruhi curah hujan karena temperatur di daerah pegunungan lebih rendah daripada temperatur di laut. Kondisi ini mempengaruhi tekanan udara dan pergerakan angin yang dapat menyebabkan terjadinya hujan di pegunungan.

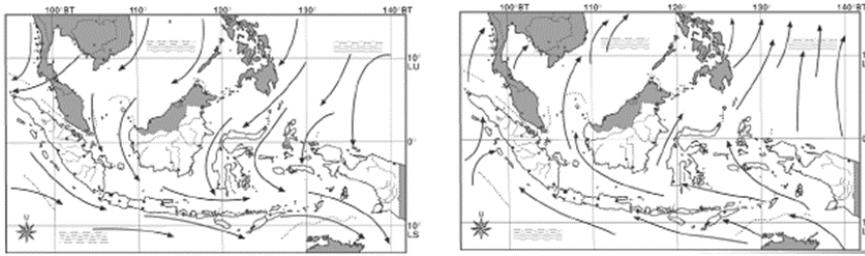
Karakteristik iklim tropis lembab:

- 1) Bentang alam wilayah didominasi oleh hutan hujan di dataran rendah.
- 2) Permukaan tanah ditutupi dengan lanskap hijau. Tanah biasanya berwarna merah atau coklat.
- 3) Tumbuhan beraneka ragam dan menghasilkan buah sepanjang tahun.
- 4) Kelembaban udara cukup tinggi dan berawan sepanjang tahun.
- 5) Kecepatan angin tinggi tetapi lebih lambat di kawasan hutan.

Berdasarkan kondisi geografisnya, Indonesia juga dikenal sebagai negara yang memiliki 3 tipe iklim yaitu iklim monsun, iklim panas dan iklim laut. Jenis iklim yang paling banyak dijumpai di Indonesia adalah iklim panas. Secara rinci 3 tipe tipe iklim dapat dijelaskan di bawah ini:

*Iklim muson*, iklim ini terjadi karena perubahan arah angin muson setiap setengah tahun. Arah angin di Indonesia terdiri dari monsun barat daya dan monsun timur laut yang menyebabkan perubahan musim setiap enam bulan (Gambar 4). Angin muson barat daya membawa udara basah yang menyebabkan musim hujan pada bulan Oktober sampai April. Sedangkan angin muson timur laut membawa udara kering sehingga menyebabkan musim kemarau pada bulan April hingga Oktober.

*Iklim panas*, iklim ini disebabkan oleh letak Indonesia yang berada di sekitar garis khatulistiwa sehingga memiliki temperatur tahunan yang tinggi. Temperatur yang lebih panas dirasakan pada musim kemarau yang berdampak negatif bagi masyarakat.



**Gambar 4.** Iklim muson: muson barat daya (Kiri), dan muson timur laut (kanan)

*Iklim laut*, yaitu iklim yang disebabkan oleh pulau-pulau yang dikelilingi oleh laut. Kondisi ini menyebabkan kelembaban tinggi dan curah hujan tinggi dengan durasi yang lama. Berdasarkan iklim tersebut, iklim Indonesia dibagi menjadi dua, yaitu: iklim hujan tropis dan iklim sabana. (Gambar 5).



**Gambar 5.** Iklim laut menyebabkan curah hujan tinggi: iklim sabana di sekitar laut (kiri), iklim hujan tropis (tengah), dan daratan sabana (kanan).

*Bilah 2*

## **UNSUR-UNSUR KENYAMANAN DALAM ARSITEKTUR**

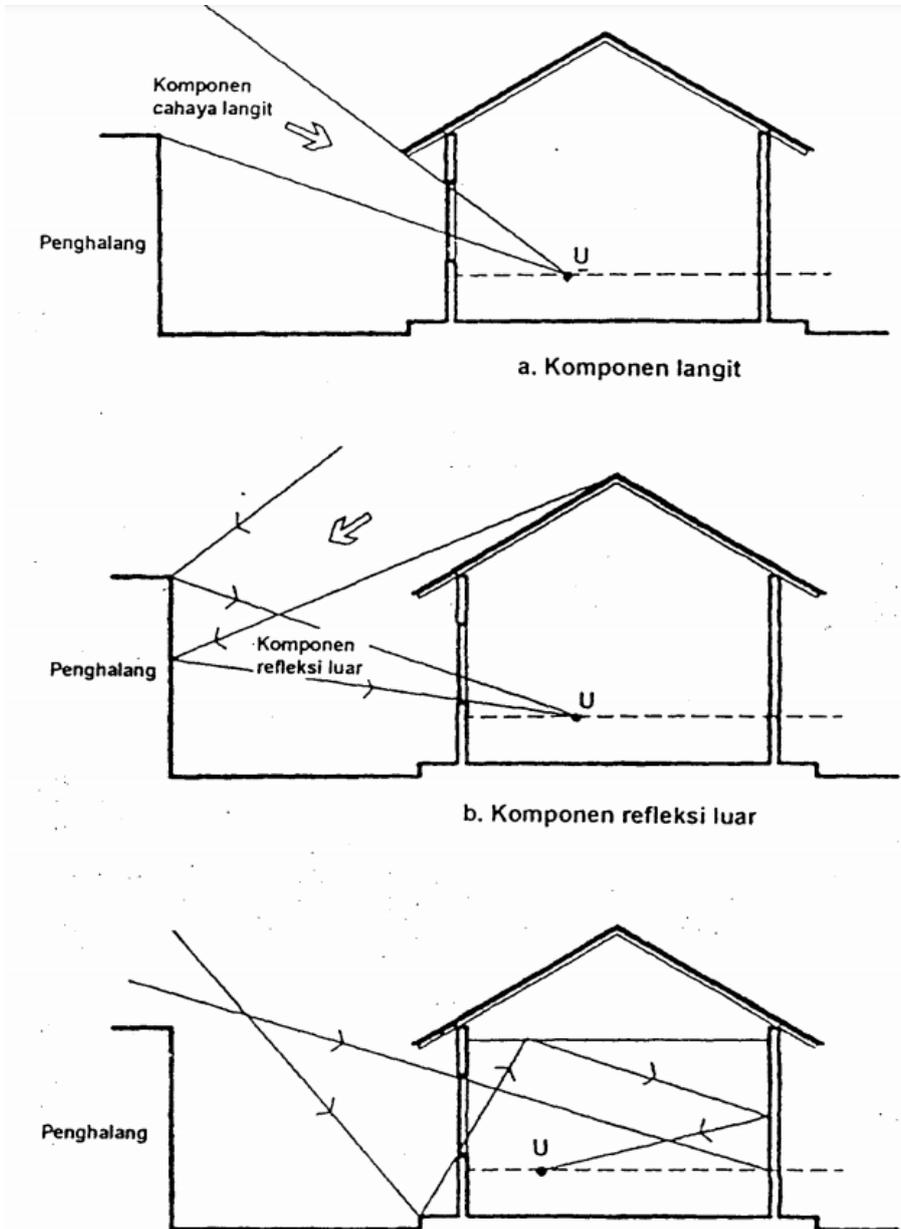
Sejarah kenyamanan datang sebagai penemuan riset yang berbeda. Misalkan dibidang militer, ketika diperlukan untuk memastikan bahwa perwira dan prajurit dapat terus bekerja di kapal dan pesawat bahkan di lingkungan dengan temperatur tinggi. Kenyamanan adalah hasil interaksi pertukaran fisik, fisiologis, psikologis, sosial dan budaya. Dibidang arsitektur sangat tergantung pada individu masing-masing, serta pakaian, postur, aktivitas, dan iklim. Ada 3 unsur yang perlu diperhatikan dalam kenyamanan fisik bangunan yaitu: Kenyamanan visual terkait dengan penerangan, kenyamanan termal terkait dengan penghawaan, dan kenyamanan pendengaran terkait dengan akustik atau bunyi.

### **1. Kenyamanan Penerangan**

Penerangan diperlukan oleh manusia untuk melihat sebuah benda secara visual. Pantulan penerangan yang mengenai sebuah benda menyebabkan benda tersebut dapat dilihat dengan jelas oleh pengamat/manusia. Kenyamanan pada arsitektur juga terkait dengan penerangan khususnya kenyamanan visual. Kenyamanan visual dapat dicapai jika sebuah benda mendapat penerangan yang cukup baik untuk diamati secara jelas. Sebaliknya, jika benda tidak mendapat penerangan secara cukup maka akan sulit untuk diamati dan menyebabkan ketidaknyamanan visual. Ketidaknyamanan visual juga dapat mengganggu kesehatan terutama indera penglihatan manusia yaitu mata. Penerangan yang cukup baik juga akan mempengaruhi produktivitas pekerja manusia. Dukungan penerangan yang cukup membuat segala aktivitas dapat dilakukan secara mudah. Pentingnya penerangan ini menyebabkan perencanaan penerangan perlu memperhatikan kenyamanan visual.

Kenyamanan visual didalam ruangan yang bersumber dari pencahayaan dipengaruhi oleh jumlah, ukuran dan penempatan bukaan/jendela, pencahayaan alami dipengaruhi oleh beberapa variable yaitu desain bukaan jendela, bentuk dan kedalaman ruang, kenyamanan visual, dan faktor eksternal. Menurut Thojib (2013), kantor sebagai area kerja membutuhkan tingkat kenyamanan pencahayaan alami yang memadai agar pengguna di dalamnya dapat melakukan aktivitas dengan lancar dan memiliki produktivitas kerja yang baik. Kenyamanan visual dapat tercapai jika syarat-syarat kenyamanan visual difungsikan secara optimal dengan kesesuaian rancangan dengan standar penerangan yang direkomendasikan. Selain itu, penataan layout ruangan yang sesuai dengan distribusi pencahayaan juga perlu diperhatikan dalam mencapai nyaman visual. Namun mendasarkan penilaian kenyamanan hanya pada standar yang direkomendasikan belum cukup, karena pengguna bangunan sebagai subjek yang merasakan kenyamanan memiliki perilaku yang berbeda tiap individu yang mempengaruhi

persepsi mereka terhadap kenyamanan pencahayaan dalam ruang. Penilaian kenyamanan visual dari pencahayaan akan tepat jika terdapat kesesuaian antara hasil terukur dari kesesuaian rancangan dengan teori dan standar dengan persepsi pengguna.



**Gambar 6.** Proses masuknya penerangan alami ke dalam ruangan

Kenyamanan ruangan dengan penerangan perlu juga memperhatikan seberapa besar intensitas terang yang diperlukan. Semakin tinggi intensitas terang yang digunakan bisa berakibat semakin menurunnya tingkat kenyamanan visual, akibat kesilauan. Jadi penerangan yang baik untuk kenyamanan adalah penerangan yang cukup dan sesuai dengan kuat penerangan yang distandarkan masing-masing ruangan serta memperhatikan sumber dari penerangan, apakah bersumber dari penerangan alami atau buatan.

Tabel 2. Standar kenyamanan visual

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Redensi Warna	Temperatur warna		
			Warm white <3300 K	Cool white 3300 K – 5300 K	Daylight >5300 K
<b>Rumah tinggal</b>					
• Teras	60	1 atau 2	0	0	
• Ruang tamu	120-150	1 atau 2		0	
• Ruang makan	120-250	1 atau 2	0		
• Ruang kerja	120-250	1		0	0
• Kamar tidur	120-250	1 atau 2	0	0	
• Kamar mandi	250	1 atau 2		0	0
• Dapur	250	1 atau 2	0	0	
• Garasi	60	3 atau 4		0	0
<b>Perkantoran</b>					
• Ruang direktur	350	1 atau 2		0	0
• Ruang kerja	350	1 atau 2		0	0
• Ruang komputer	350	1 atau 2		0	0
• Ruang rapat	300	1	0		
• Ruang gambar	750	1 atau 2		0	0
• Gudang arsip	150	1 atau 2		0	0
• Ruang arsip aktif	300	1 atau 2		0	0
<b>Lembaga Pendidikan</b>					
• Ruang kelas	250	1 atau 2		0	0
• Perpustakaan	300	1 atau 2		0	0
• Laboratorium	500	1		0	0
• Ruang gambar	750	1		0	0
• Kantin	200	1	0	0	
<b>Hotel dan Restoran</b>					
• Lobi, koridor	100	1	0	0	
• Ruang serba guna	200	1	0	0	
• Ruang makan	250	1	0	0	
• Kafetaria	200	1	0	0	
• Kamar tidur	150	1 atau 2	0		
• Dapur	300	1	0	0	
<b>Rumah Sakit atau Balai Pengobatan</b>					
• Ruang rawat inap	250	1 atau 2		0	0
• Ruang operasi	300	1		0	0
• Ruang bersalin	300	1		0	0
• Laboratorium	500	1 atau 2		0	0
• Ruang rekreasi	250	1	0	0	
• Ruang rehabilitasi	250	1	0	0	
<b>Pertokoan dan ruang pameran</b>					
• Ruang pameran untuk objek ukuran besar (seperti: mobil)	500	1	0	0	0
• Toko kue dan makanan	250	1	0	0	
• Toko bunga	250	1		0	
• Toko buku dan alat tulis/gambar	300	1	0	0	0
• Toko perhiasan	500	1	0	0	
• Toko jam tangan	500	1	0	0	
• Toko sepatu	500	1	0	0	
• Toko barang kulit	500	1	0	0	
• Toko pakaian	500	1	0	0	
• Pasar swalayan	500	1 atau 2	0	0	
• Toko mainan	500	1	0	0	
• Toko alat listrik (TV, Radio/tape. Mesin cuci)	250	1 atau 2	0	0	0
• Toko alat musik dan olah raga	250	1	0	0	0
<b>Industri (Umum)</b>					
• Gudang	100	3		0	0
• Pekerjaan kasar	100-200	2 atau 3		0	0

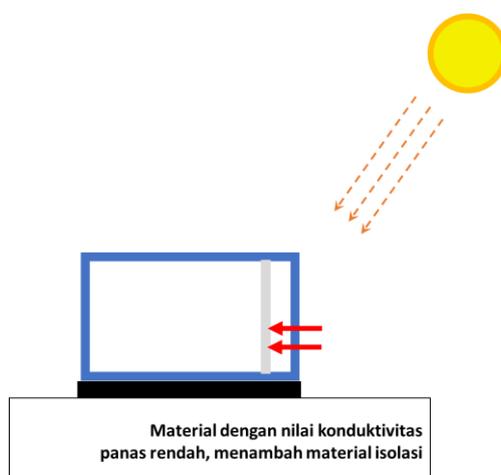
• Pekerjaan menengah	200-500	1 atau 2	0	0
• Pekerjaan halus	500-1000	1		
• Pekerjaan amat halus	1000-2000	1	0	0
• Pemeriksaan warna	750	1	0	0
<b>Rumah Ibadah</b>				
• Masjid	200	1 atau 2	0	
• Gereja	200	1 atau 2	0	
• Vihara	200	1 atau 2	0	

## 2. Kenyamanan Penghawaan

Kenyamanan penghawaan lebih dikenal dengan istilah kenyamanan termal. Aspek kenyamanan ini terkait dengan kondisi udara, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: temperatur ruangan, kelembaban udara, sirkulasi udara dan pancaran cahaya. Penghawaan terkait erat dengan perpindahan kalor di luar maupun di dalam ruangan. Kalor adalah energi yang berpindah dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang rendah. Kalor tersebut memiliki satuan internasional (SI), yaitu joule. Tidak setiap benda dapat menghantarkan kalor, ada juga benda yang tidak dapat menghantarkan kalor. Benda-benda di sekitar kita ada yang bisa menghantarkan kalor disebut dengan konduktor. Contoh benda konduktor ialah tembaga, besi, air, timah, dan aluminium.

Perpindahan kalor dalam ilmu fisika dikenal tiga macam, yakni konduksi, konveksi dan radiasi.

Konduksi adalah perpindahan panas melalui zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan. Artinya, perpindahan kalor pada suatu zat tersebut tidak disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya. Kalor dari matahari dapat memanaskan dinding bagian luar bangunan yang terekspos langsung dengan matahari. Panas ini merambat dari dinding bangunan bagian luar melalui lapisan dinding hingga memanaskan bagian dalam dinding yang lebih rendah temperturnya karena tidak terkena langsung sinar matahari. Karena itu, solusi untuk menghambat laju transfer panas ini adalah dengan memilih material dinding yang memiliki nilai konduktivitas rendah, seperti batu bata atau menambahkan material insulator yang tidak menghantarkan panas.

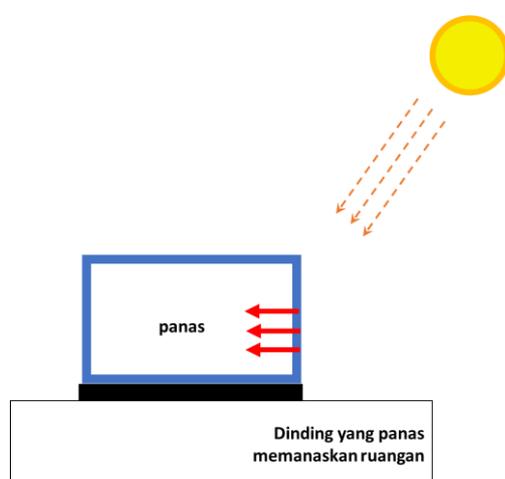


**Gambar 7.** Proses konduksi ke dalam ruangan

Contoh lain konduksi:

- Benda yang terbuat dari logam akan terasa hangat atau panas jika ujung benda dipanaskan, misalnya ketika memegang kembang api yang sedang dibakar.
- Knalpot motor menjadi panas saat mesin dihidupkan.
- Tutup panci menjadi panas saat dipakai untuk menutup rebusan air.

Konveksi adalah perpindahan panas melalui aliran yang zat perantaranya ikut berpindah. Jika partikel berpindah dan mengakibatkan kalor merambat, terjadilah konveksi. Konveksi terjadi pada zat cair dan gas (udara/angin). Memanasnya udara yang terkena sinar matahari atau udara di ruang dalam yang dindingnya panas akibat proses konduksi. Perpindahan panas jenis ini sulit untuk dihambat, kecuali dengan cara melambatkan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan.



**Gambar 8.** Proses konveksi ke dalam ruangan

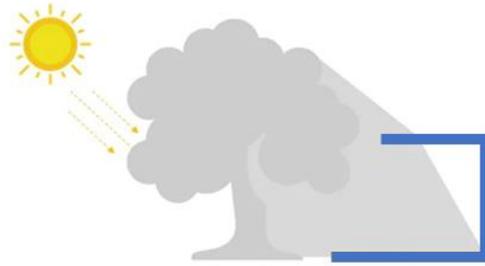
Contoh lain konveksi:

- Gerakan naik dan turun air ketika dipanaskan.
- Terjadinya angin darat dan angin laut.
- Gerakan balon udara.
- Asap cerobong pabrik yang membumbung tinggi.

Radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Radiasi biasanya disertai cahaya. Ruangan yang memiliki akses langsung ke sinar matahari bisa terasa panas karena proses radiasi ini. Karena itu, peletakkan bukaan dalam ruangan dan posisi rumah terhadap naungan dari pohon atau bangunan di sekitarnya adalah cara untuk menghindari panasnya bangunan akibat radiasi.

Contoh lain radiasi:

- Panas matahari sampai ke bumi walau melalui ruang hampa.
- Tubuh terasa hangat ketika berada di dekat sumber api.
- Menetaskan telur unggas dengan lampu.
- Pakaian menjadi kering ketika dijemur di bawah terik matahari.



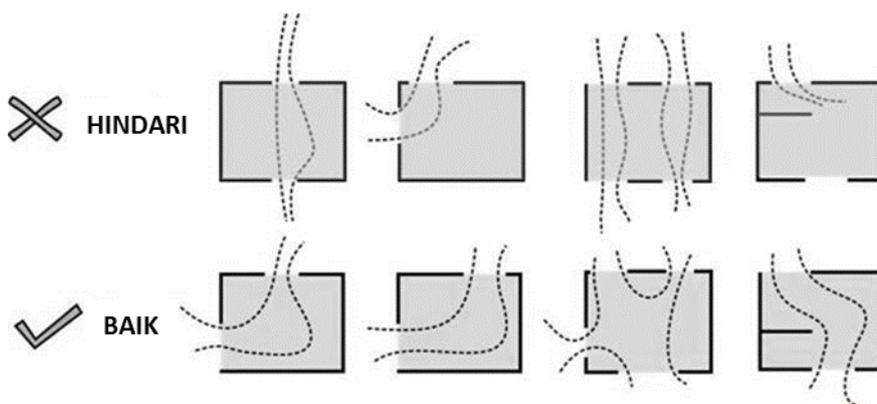
Membangun dengan memperhatikan bayangan objek sekitar seperti pohon

Gambar 9. Proses radiasi ke dalam ruangan

Sementara itu, penghawaan adalah suatu usaha pembaharuan udara dalam ruang melalui penghawaan buatan maupun penghawaan alami dengan pengaturan sebaik-baiknya. Tujuannya untuk mencapai kesehatan dan kenyamanan dalam ruang. Jumlah udara segar yang dimaksudkan berguna untuk menurunkan kandungan uap air di dalam udara, menghilangkan bau tak sedap, gas karbondioksida. Kapasitas udara segar tersebut tergantung dari aktivitas penghuni, setiap tambahan jumlah penghuni, maka udara yang dimasukkan akan lebih besar. Penghawaan juga terbagi menjadi 2, yaitu alami dan buatan, penghawaan alami dapat memanfaatkan sistem *cross ventilation* atau ventilasi silang. Sedangkan penghawaan buatan dapat bersumber dari kipas atau AC. Di pasaran dikenal 3 (tiga) jenis AC yaitu:

1. *AC window*. Umumnya dipakai pada perumahan dan dipasang pada salah satu dinding ruang dengan batas ketinggian yang terjangkau dan penyemprotan udara tidak mengganggu si pemakai.
2. *AC central* biasa digunakan pada unit-unit perkantoran, hotel supermarket dengan pengontrolan atau pengendalian yang dilakukan dari satu tempat.
3. *AC split* hampir sama bentuknya dengan AC window, bedanya hanya terletak pada konstruksi di mana alat kondensator terletak di luar ruang.

Pertimbangan pada penentuan jenis AC yang akan digunakan dengan memperhatikan pula besaran dan segi-segi ekonomis. AC window lebih cocok untuk ruang kecil dan untuk menghemat energi bias dimatikan bilamana ruang tidak terpakai. Jenis AC split banyak disukai oleh karena kelembutan suara mesin yang tidak bising sehingga menjamin ketenangan.



Gambar 10. Sistem ventilasi silang untuk penghawaan alami

### 3. Kenyamanan Pendengaran

Kenyamanan pendengaran merupakan salah satu faktor yang krusial agar suatu informasi dapat diterima dengan baik, juga agar otak dapat bekerja secara maksimal. Jika diabaikan, maka

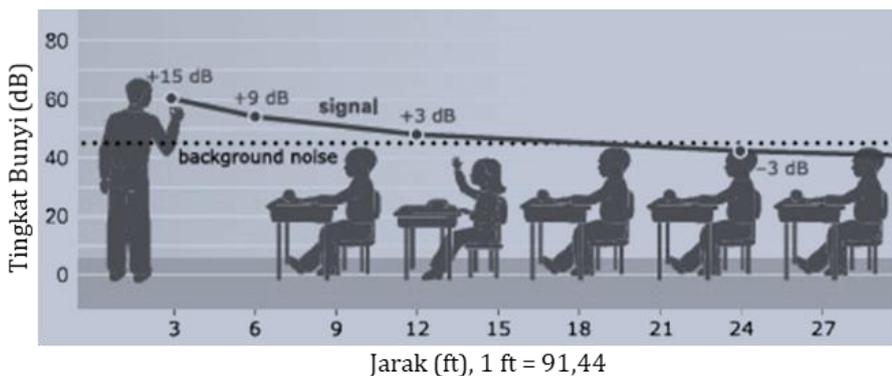
gangguan dari kebisingan dalam memberi efek buruk pada kesehatan, kesejahteraan, dan kualitas hidup secara umum. Untuk mencapai kenyamanan pendengaran, maka pemahaman terkait akustik suatu bangunan sangat diperlukan agar rancangan desain sebuah bangunan dapat mengakomodasi kebutuhan manusia akan kenyamanan pendengaran.

Akustik bangunan merupakan sebuah ilmu pengendalian suara atau kebisingan pada bangunan, termasuk juga minimalisasi bising yang ditransmisi dari satu ruang ke ruangan lainnya serta pengendalian karakteristik suara dalam ruangan. Pemahaman akan hal ini sangat penting, terutama pada bangunan-bangunan tertentu seperti misal concert hall, studio rekaman, ruang kelas, dan sebagainya, yang memiliki kebutuhan akan kualitas serta kejelasan suara yang baik.

Akustik juga merupakan unsur penunjang dalam sebuah rancangan, akustik memberi pengaruh luas dan dapat menimbulkan efek psikis dan emosional bagi orang yang mendengarnya. Pengendalian akustik yang baik membutuhkan penggunaan bahan dengan tingkat penyerapan yang tinggi seperti pada lapisan permukaan lantai, dinding, plafond, luas ruang, fungsi ruang, isi ruang, bahan tirai, tempat duduk dengan lapisan lunak, karpet, udara di dalam ruang dan pengaruh lingkungan sekitarnya. Akustik yang perlu diperhatikan dalam sebuah ruang untuk mampu meredam bunyi bising yang ditimbulkan dengan persyaratan tingkat kebisingan 60 dB. Suara dan musik, menurut volume, pitch, temp berpengaruh pada suasana hati (mood). Musik yang lembut membuat pengunjung suatu gerai terpengaruh menjadi lebih santai dibandingkan dengan musik yang menghentak keras. Sebaliknya, musik yang berirama mars membuat bawah sadar pengunjung gerai terdorong menjadi cepat.

Akustik sebuah bangunan dapat dipengaruhi oleh:

- Geometri dan volume ruang
- Karakteristik absorpsi, transmisi, dan pantulan suara dari permukaan yang menyelubungi atau berada di dalam ruangan
- Karakteristik absorpsi, transmisi, dan pantulan suara dari material antar ruang
- Suara yang ada di dalam atau di luar ruangan
- Transmisi suara melalui udara (*airborne sound*)
- Kebisingan akibat tumbukan (*impact noise*)



**Gambar 11.** Sifat bunyi dari sumber hingga kependengar

Terdapat tiga parameter yang perlu diperhatikan dalam desain atau evaluasi Akustik Bangunan, yakni Waktu Dengung, Absorpsi Suara, dan Insulasi Suara.

### Waktu Dengung

Waktu dengung sebuah ruangan dapat mengubah persepsi suara dari sumbernya dan dapat memberi efek pada kejelasan informasi akustik. Waktu dengung tinggi dapat menyebabkan suara lebih sayu, keras, dan berisik. Ruangan yang didesain untuk aktivitas bicara biasanya memiliki waktu dengung yang rendah, sedangkan waktu dengung yang lebih tinggi dapat memberi kesan lebih pada musik.

#### *Absorpsi Suara*

Absorpsi suara merupakan fenomena hilangnya energi suara saat gelombang suara berinteraksi dengan material absorptif, seperti plafon, dinding, lantai, dan objek lainnya, sehingga suara tidak dipantulkan kembali. Absorpsi akustik dapat dimanfaatkan untuk mengurangi waktu dengung.

#### *Insulasi Suara*

Transmisi suara dapat dicegah atau diminimalisasi dengan insulasi suara dan memblokir jalur udara. Insulasi suara dari material berbahan tunggal dipengaruhi massa, stiffness, dan redaman. Insulasi suara dari konstruksi kantor yang baik biasanya pada orde 45 dB Dw. Hal ini berarti jika tingkat suara pada ruangan sumber adalah 65 dB (tingkat suara saat bicara), maka tingkat suara pada ruang di sebelahnya, yakni ruang penerima, yakni sekitar 20 dB (nyaris tak terdengar).

**Tabel 3.** Standar tingkat kebisingan

Peruntukan Kawasan /Lingkungan Kegiatan	Tingkat Kebisingan (dBA)
<b>Peruntukan Kawasan</b>	
Perumahan dan pemukiman	55
Perdagangan dan Jasa	70
Perkantoran dan Perdagangan	65
Ruang Terbuka Hijau	50
Industri	70
Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
Rekreasi	70
Khusus:	
1. Bandar Udara*	
2. Stasiun Kereta Api*	
3. Pelabuhan Laut	70
<b>Lingkungan Kegiatan</b>	
Rumah Sakit atau sejenisnya	55
Sekolah atau sejenisnya	55
Tempat ibadah atau sejenisnya	55

Keterangan:

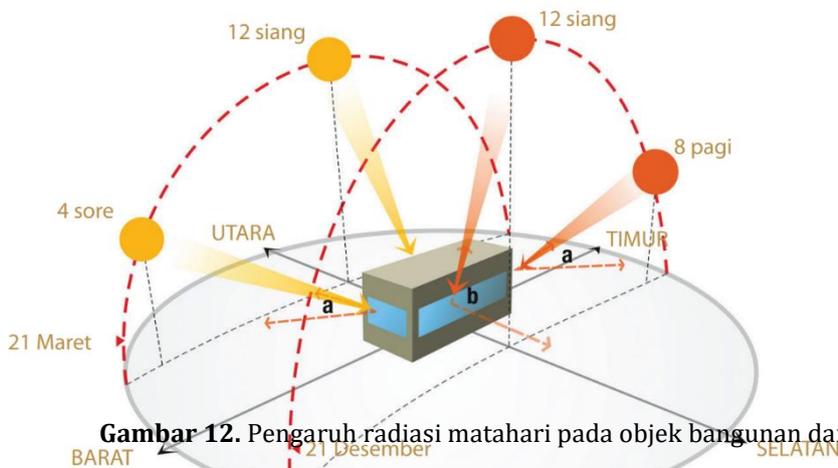
\*disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan

### Bilah 3

# DASAR-DASAR KENYAMANAN TERMAL

## 1. Pengaruh Iklim pada Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal dan dinilai dengan evaluasi subjektif. Untuk menciptakan kenyamanan termal harus memahami kondisi lingkungan yang dapat membuat panas menjadi hilang. Ada empat kondisi iklim tropis yang harus diperhatikan dan mempengaruhi kenyamanan termal, yaitu: radiasi matahari, temperatur udara, kelembaban dan curah hujan, dan pergerakan angin.



**Gambar 12.** Pengaruh radiasi matahari pada objek bangunan dan lingkungan

Radiasi matahari adalah satu-satunya sumber energi terbarukan yang tersedia saat ini. Sementara itu, peraturan suatu daerah dan kondisi geografis seringkali menghambat penggunaan sumber energi terbarukan. Dengan demikian, koneksi yang diperlukan dengan lingkungan disediakan dengan sarana prasarana khusus tempat di mana radiasi diterima. Pengaruh radiasi matahari pada suatu tempat ditentukan oleh: durasi, intensitas, dan sudut datang matahari.

Temperature, Relative Humidity and Dew Point

		Relative Humidity %																	
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
38	Temperature °C	17.42	19.88	22.05	24	25.77	27.39	28.88	30.27	31.57	32.79	33.94	35.03	36.07	37.06	38	38		
37		16.56	19.01	21.17	23.1	24.85	26.46	27.95	29.33	30.62	31.83	32.97	34.05	35.08	36.06	37	37		
36		15.7	18.13	20.27	22.2	23.94	25.54	27.01	28.38	29.66	30.86	32	33.08	34.1	35.07	36	36		
35		14.84	17.25	19.38	21.29	23.02	24.61	26.07	27.43	28.71	29.9	31.03	32.1	33.11	34.08	35	35		
34		13.98	16.38	18.49	20.39	22.11	23.68	25.14	26.49	27.75	28.94	30.06	31.12	32.12	33.08	34	34		
33		13.12	15.5	17.6	19.48	21.19	22.75	24.2	25.54	26.79	27.97	29.08	30.14	31.14	32.09	33	33		
32		12.25	14.62	16.71	18.58	20.27	21.83	23.26	24.59	25.84	27.01	28.11	29.16	30.15	31.1	32	32		
31		11.39	13.74	15.82	17.67	19.36	20.9	22.32	23.65	24.88	26.05	27.14	28.18	29.16	30.1	31	31		
30		10.53	12.87	14.93	16.77	18.44	19.97	21.39	22.7	23.93	25.08	26.17	27.2	28.18	29.11	30	30		
29		9.67	11.99	14.03	15.86	17.52	19.04	20.45	21.75	22.97	24.12	25.2	26.22	27.19	28.12	29	29		
28		8.8	11.11	13.14	14.96	16.61	18.12	19.51	20.8	22.01	23.15	24.22	25.24	26.2	27.12	28	28		
27		7.94	10.23	12.25	14.05	15.69	17.19	18.57	19.86	21.06	22.19	23.25	24.26	25.22	26.13	27	27		
26		7.08	9.35	11.35	13.14	14.77	16.26	17.63	18.91	20.1	21.22	22.28	23.28	24.23	25.14	26	26		
25		6.21	8.47	10.46	12.24	13.85	15.33	16.69	17.96	19.15	20.26	21.31	22.3	23.24	24.14	25	25		
24		5.35	7.59	9.56	11.33	12.93	14.4	15.75	17.01	18.19	19.29	20.33	21.32	22.26	23.15	24	24		
23		4.48	6.71	8.67	10.42	12.01	13.47	14.81	16.06	17.23	18.33	19.36	20.34	21.27	22.15	23	23		
22		3.62	5.83	7.77	9.52	11.09	12.54	13.88	15.12	16.27	17.36	18.39	19.36	20.28	21.16	22	22		

**Gambar 13.** Hubungan temperatur, kelembaban relative dan dan titik embun (Sumber: Whilson, 2016)

Bumi beredar mengelilingi matahari, sumbunya tidak selalu tegak lurus antara sumbu bumi dan matahari. Pergeseran garis matahari menyebabkan perubahan durasi radiasi yang diterima di permukaan bumi. Selama satu tahun Bumi beredar mengelilingi matahari, lamanya penyinaran matahari berbeda-beda dengan interval waktu setiap 3 bulan sekali. Karakteristik lama penyinaran matahari berbeda antara di daerah tropis dan subtropis. Perbedaan durasi ini, mempengaruhi lamanya siang dan malam. Durasi lamanya siang dan malamnya semakin besar untuk negara-negara beriklim subtropic atau letaknya jauh dari garis khatulistiwa. Intensitas radiasi matahari dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu: energi radiasi absolut, kehilangan energi di lapisan atmosfer, sudut jatuh radiasi dan penyebaran radiasi. Sudut matahari mempengaruhi iklim suatu daerah, juga mempengaruhi panas suatu daerah dan dapat menyebabkan perubahan musim pada waktu-waktu tertentu dalam setahun.

Temperatur udara penting dalam menciptakan kenyamanan dalam ruangan. Meskipun hal ini tergantung pada keadaan perasaan subjektif dan kenyamanan perilaku masing-masing orang. Jika temperatur udara sangat tinggi dapat menyebabkan *heat stroke*. Solusi untuk *heat stroke* adalah dengan memperhatikan faktor kenyamanan, seperti kelembaban dan angin. Temperatur udara akan menentukan laju hilangnya panas ke udara secara konveksi. Temperatur udara juga mempengaruhi kenyamanan manusia. Hal yang perlu diingat juga bahwa nilai kenyamanan akan berbeda-beda tergantung pada kondisi alam dan geografis daerah.

Kelembaban udara dapat mengalami fluktuasi yang tinggi, tergantung pada perubahan temperatur udara. Temperatur udara mempengaruhi kemampuan udara untuk menyerap air. Kelembaban relatif menunjukkan rasio tekanan uap air terhadap tekanan uap maksimum, dinyatakan dalam persen. Kelembaban absolut adalah kadar air udara yang dinyatakan dalam gram per kilogram udara kering, dengan mengukur tekanan yang ada di udara dalam kilopascal (kPa) atau disebut juga tekanan uap. Musim hujan atau musim hujan adalah musim yang ditandai dengan meningkatnya curah hujan di suatu wilayah dalam jangka waktu tertentu secara teratur. Musim hujan hanya dikenal di daerah yang beriklim tropis. Musim hujan berganti dengan musim kemarau dan dipengaruhi oleh pergerakan semu matahari dalam setahun. Pergerakan semu matahari ini, mengubah peta temperatur udara, temperatur permukaan tanah dan lautan. Perbedaan temperatur tersebut akan mengubah konsentrasi uap air di udara. Biasanya, hujan terjadi di daerah yang sedang mengalami posisi matahari tepat di atas daerah tersebut.

Pergerakan udara mempengaruhi laju kehilangan panas baik secara konveksi maupun evaporasi. Akibatnya, kecepatan udara memiliki efek yang sangat nyata pada kehilangan panas.

Di musim panas, kebutuhan pergerakan udara sangat diperlukan untuk memberikan kenyamanan pada ruang luar terlebih ruang dalam bangunan. Angin berkecepatan rendah dapat memperbaiki iklim mikro, sementara angin berkecepatan tinggi harus dihindari. Kisaran nyaman untuk ruang dalam adalah dari 0,1 m/s hingga 0,3 m/s. Kemudian, kecepatan angin antara 0,3 m/s hingga 2 m/s merupakan gerakan udara yang bisa terlihat dari gerakan suatu objek, kondisi demikian masih dapat diterima atau ditoleransi oleh tubuh manusia, namun juga tergantung pada aktivitas yang dilakukan. Sedangkan kecepatan angin di atas 2 m/s merupakan gerakan udara yang bisa sedikit tidak nyaman dan mengganggu. Lihat Tabel 2, untuk penjelasan lebih rinci tentang bagaimana kecepatan udara mempengaruhi kenyamanan. Meskipun pergerakan udara dari angin sepoi-sepoi biasanya diinginkan di musim panas, itu tidak di iklim yang sangat panas dan kering. Jika udara di atas 37°C, akan memanaskan kulit secara konveksi sementara mendingin dengan penguapan.

**Tabel 4.** Kecepatan angin dan kenyamanan termal

Wind Velocity	Equivalent Temperature Reduction	Effect on Comfort
m/s	°C	
0.05	0	Stagnant air, slightly uncomfortable
0.2	1.1	Barely noticeable, but comfortable
0.25	1.3	Design velocity for air outlets that are near occupants
0.4	1.9	Noticeable and comfortable
0.8	2.8	Very noticeable, but acceptable in certain high-activity areas if air is warm
1	3.3	Upper limit for air condition spaces Good air velocity for natural ventilation in hot and dry climates
2	3.9	Good air velocity for comfort ventilation in hot and humid climates
4.5	5	Considered a gentle breeze when felt outdoors

## 2. Kenyamanan Termal di Ruang Luar

Unsur-unsur yang mempengaruhi kenyamanan beraktivitas di luar ruangan adalah sirkulasi, aksesibilitas, karakteristik alam dan iklim, keamanan, kebersihan, dan keindahan. Berikut akan dijelaskan satu per satu.

- Sirkulasi adalah perputaran. Aspek yang berkaitan dengan sirkulasi pejalan kaki adalah dimensi jalan dan jalur pejalan kaki, lokasi dan tujuan sirkulasi pejalan kaki, tujuan berjalan kaki, waktu dan durasi perjalanan.

- Aksesibilitas adalah tingkat kenyamanan yang dicapai oleh seseorang, terhadap suatu objek, layanan atau lingkungan.
- Karakteristik alam dan iklim adalah keadaan alam dan iklim yang terjadi pada suatu waktu.
- Keselamatan adalah keamanan yang diperuntukkan bagi pejalan kaki baik dari kejahatan maupun faktor lain seperti kecelakaan.
- Kebersihan, sesuatu yang bersih dan estetis serta nyaman baik secara visual maupun suasana untuk beraktivitas diluar ruangan.
- Keindahan merupakan unsur kenyamanan yang mencakup kepuasan batin, sehingga sulit untuk menilai keindahan pada setiap orang karena memiliki persepsi yang berbeda-beda.



Gambar 2. Fasilitas taman yang ada yang dapat menunjang kenyamanan beraktivitas di luar ruangan

Karakteristik alam dan iklim perlu mendapat perhatian khusus. Kondisi Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau yang dikelilingi lautan menyebabkan lingkungan menjadi lembab. Kondisi panas-lembab mempengaruhi kenyamanan dalam beraktivitas di luar ruangan. Unsur-unsur iklim tropis lembab yang mempengaruhi tingkat kenyamanan adalah radiasi matahari, temperatur, kelembaban, curah hujan, dan pergerakan angin. Selain itu, vegetasi juga mempengaruhi kenyamanan beraktivitas di luar ruangan. Vegetasi dapat juga berfungsi sebagai elemen estetis, selain berfungsi sebagai peneduh, penahan angin yang mengarah ke bangunan dan penahan radiasi panas matahari ke permukaan tanah, jalan atau lantai. Untuk kenyamanan termal beraktivitas di luar ruangan, dibutuhkan fasilitas penunjang pejalan kaki atau biasa dikenal dengan sebutan *street furniture*, sebagai berikut:

- 1) Penutup Tanah pada jalur pejalan kaki dapat berupa material keras dan material lunak. Bahan keras seperti paving, beton, batu bata, batu dan aspal dan bahan lunak seperti tanah liat dan rumput. Perencanaan penutup tanah tergantung pada fungsi dan jenis jalur pejalan kakinya.
- 2) *Shelter*, berbentuk linier sebagai koridor atau tempat duduk yang fungsinya dapat sebagai tempat beristirahat, berteduh dari panas atau hujan, serta untuk angkutan umum.
- 3) Vegetasi di jalur pejalan kaki dapat berfungsi sebagai pembatas jalan kendaraan atau tempat parkir. Bisa juga berfungsi sebagai *barrier* untuk mengurangi kebisingan, polusi kendaraan dan keteduhan saat hujan. Selain itu, vegetasi juga berfungsi untuk meredam radiasi panas matahari.

### 3. Elemen Arsitektur Penunjang Kenyamanan

Desain rumah tinggal menentukan efek kenyamanan termal di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Kenyamanan termal bangunan dapat dicapai jika hal-hal berikut diperhatikan:

### 1) Lokasi

Lokasi penting dalam desain bangunan, terutama di iklim tropis lembab. Di daerah sekitar sungai atau laut memiliki kelembaban yang tinggi terutama di pagi hari. Kondisi berbeda pada temperatur di daratan lebih cepat panas daripada di daerah berair.

### 2) Bentuk dan komponen bangunan

Bentuk dan komponen bangunan merupakan hal penting yang harus diperhatikan untuk mencapai kenyamanan termal pada bangunan. Bangunan yang memaksimalkan sinar matahari untuk penerangan alami, namun tetap dapat mengontrol panasnya untuk kenyamanan termal. Bentuknya juga dapat mempengaruhi aliran angin untuk ventilasi silang yang efektif atau langit-langit yang tinggi di dalam ruangan [48]. Komponen bangunan juga mempengaruhi kenyamanan termal bangunan, seperti jendela, atap, dan dinding. Selain itu, satu hal yang paling mempengaruhi lingkungan termal adalah material.

Bentuk bangunan yang baik adalah bentuk yang bisa mendapatkan sinar matahari pagi dan terhindar dari panasnya hari setelahnya atau pada siang hari. Bentuk denah juga mempengaruhi kenyamanan termal, misalnya: bentuk persegi panjang, sisi yang lebih panjang lebih baik menghadap Utara-Selatan. Demikian pula, jendela sebaiknya ditempatkan pada dinding yang menghadap Utara-Selatan, untuk memberikan perlindungan dari sinar matahari. Letak lubang ventilasi pada dinding yang berlawanan, sehingga aliran angin dapat masuk ke dalam ruangan tanpa banyak hambatan dengan kecepatan maksimum.

Dimensi penghawaan alami dianggap cukup bila mencapai  $1/3$  dari luas lantai. Ukuran jendela lebih tergantung pada pertimbangan kemampuan menerima sinar matahari, dan pertimbangan temperatur. Penempatan jendela juga dilakukan di sisi yang paling mudah untuk diperiksa. Ukuran jendela adalah 20% dari luas dinding untuk ventilasi alami dan pencahayaan yang digunakan. Ventilasi silang perlu disediakan jika terjadi panas yang berlebihan, tetapi dalam keadaan tertentu hal ini dapat menyebabkan kondisi yang tidak nyaman sehingga perlu disiapkan penutup jendela.

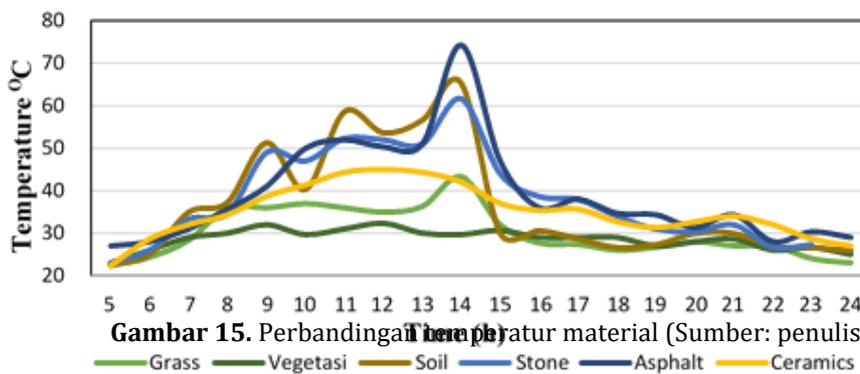
Atap dan dinding bangunan merupakan bagian yang paling banyak menerima radiasi matahari langsung. Radiasi melalui proses refleksi dan transmisi dikirim ke ruangan. Atap merupakan komponen penting, karena menerima radiasi paling besar, karena itu diperlukan isolasi untuk mengurangi efek radiasi matahari dari atap. Isolasi dapat dilakukan dengan cara yang bervariasi tergantung pada keterampilan, kebiasaan dan pengalaman. Selain itu, juga perlu dibuatkan ventilasi sebagai jalan keluar dari panas di bawah atap. Pengaruh panas matahari pada atap datar 50% lebih besar dari atap miring. Pada lokasi yang sama dan insulasi reflektif di bawah atap mampu memantulkan 90% panas yang akan masuk ke dalam ruangan. Dengan demikian atap miring ditambah insulasi akan membantu mendinginkan ruangan. Sebaliknya, kemiringan dan adhesi akan menghambat pelepasan udara hangat yang dibutuhkan di musim dingin.

Atap bangunan berfungsi sebagai pelindung terhadap panas dan sinar matahari, serta pelindung dari hujan. Dinding bangunan harus menghadapi kondisi *indoor* dan *outdoor*. Pengaruh dinding pada kondisi luar ruangan harus menjadi perlindungan terhadap radiasi matahari, penghalang panas eksternal, perlindungan hujan dan kelembaban, dan perlindungan angin. Pengaruh dinding terhadap ruang dalam, harus dapat menjaga temperatur yang nyaman di dalam ruangan. Berkaitan dengan kenyamanan bangunan, ada beberapa cara untuk

mengurangi besarnya efek radiasi pada suatu bangunan, yaitu dengan mengatur *shading* atap dan kepadatan dinding untuk menjaga bagian yang berlubang sebagai ventilasi alami.

Di daerah dengan iklim tropis lembab, overstek besar dapat menahan silau langit, melindungi dari hujan dan juga memberikan bayangan. Penghalang matahari dan kisi-kisi digunakan untuk melindungi bukaan selama musim kemarau, dan musim hujan. Fungsi overstek sebagai *shadowing* adalah cara yang baik untuk menghindari sinar matahari. Bayangan juga berfungsi untuk meredam panas yang dipantulkan dari material.

Bahan bangunan atau konstruksi mempengaruhi kenyamanan termal. Bahan tersebut memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap dan memantulkan panas, sehingga temperatur sinar matahari yang terkena radiasi juga berbeda. Misalnya, temperatur bahan keramik dan batu berbeda saat terkena sinar matahari dalam kondisi yang sama.



Gambar 15. Perbandingan Temperatur material (Sumber: penulis)

— Grass — Vegetasi — Soil — Stone — Asphalt — Ceramics

#### Bilah 4

## STANDAR KENYAMANAN TERMAL LINGKUNGAN

### 1. Sejarah Penelitian Termal

Indonesia merupakan negara beriklim tropis lembab dan negara kepulauan yang terletak di sekitar garis khatulistiwa. Negara-negara sekitarnya yang memiliki iklim serupa adalah

Singapura, Malaysia dan Brunei. Banyak peneliti melakukan survei kenyamanan termal. Kajian kenyamanan termal pertama di Indonesia dilakukan oleh Mom pada tahun 1937, hasil penelitiannya menunjukkan kenyamanan termal dalam indeks termal *operative temperature*. Setelah itu, penelitian Karyono (1993, 2000, 2005, 2013 & 2015), Feriady-Wong (2004), dan Siti Aisyah (2015). Semua penelitian yang dilakukan di Indonesia menggunakan indeks termal *operative temperature* dengan rentang kenyamanan termal dari 24,7°C hingga 27,7°C.

Studi kenyamanan termal di Singapura, dilakukan oleh Ellis (1952 & 1953) dan de Dear (1986 & 1990) dengan indeks termal rentang *operative temperature* 24.2°C-30°C. Penelitian kenyamanan termal di Port Moresby-Papua Nugini yang dilakukan oleh Ballantyne (1967 dan 1979) dengan kesimpulan indeks termal rentang *operative temperature* antara 25°C -26.7°C. Sedangkan penelitian kenyamanan termal di Malaysia dilakukan oleh Azizpour (2011) menggunakan indeks termal temperatur efektif dengan kesimpulan 20.3°C-3.6°C. Indeks kenyamanan termal terdiri dari *operative temperature* ( $T_{op}$ ) dan temperatur efektif (ET).  $T_{op}$  berkisar antara 24.1°C hingga 30°C dan  $T_{op}$  rata-rata 26.1°C. Dari data yang ditampilkan, masih sedikit penelitian kenyamanan termal menggunakan temperatur efektif pada indeks kenyamanan termal, bahkan di Indonesia hanya menggunakan indeks *operative temperature* dan juga menunjukkan tempat penelitian di dalam ruangan.

Menurut Tri Harso Karyono, peneliti senior kenyamanan termal di Indonesia, penelitiannya tentang *Predicting Comfort Temperature in Indonesia, Initial Step to Reduce Cooling Energy Consumption*: Prediksi kenyamanan termal yang diusulkan diharapkan lebih tepat dan andal dalam memprediksi kenyamanan temperatur masyarakat Indonesia yang tinggal di berbagai lokasi dengan berbagai temperatur rata-rata harian. Selain temperatur udara ( $T_a$ ), sejumlah indeks kenyamanan, yang biasanya digunakan untuk menyatakan derajat kehangatan di lingkungan termal apa pun, adalah Temperatur Efektif (ET), Temperatur Terkoreksi Efektif (CET), *operative temperature* ( $T_{op}$ ), Standar Temperatur Efektif (SET), dan humidex (Indeks Kelembaban).

Houghton dan Yaglou mengembangkan indeks termal ET sebagai efek gabungan dari temperatur udara, kelembaban, dan kecepatan udara; mereka meningkatkan keandalan indeks dengan memperkenalkan CET, sebagai efek gabungan dari temperatur radiasi rata-rata, kelembaban dan kecepatan udara. Indeks ini menghasilkan nilai kehangatan yang lebih baik dan lebih akurat dibandingkan dengan temperatur udara. Temperatur operasi ( $T_{op}$ ), efek kombinasi temperatur udara, berarti temperatur radiasi dan kecepatan udara, umumnya digunakan sebagai indeks termal saat ini, terutama oleh beberapa organisasi standar kenyamanan yang dikenal luas seperti Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO), Standar Eropa (EN) dan *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE). Namun, SET mungkin merupakan indeks yang paling dapat diandalkan untuk mengekspresikan kehangatan lingkungan termal karena memperhitungkan semua enam parameter yang mempengaruhi sensasi termal: temperatur udara, temperatur radiasi rata-rata, kelembaban, kecepatan udara, laju metabolisme, dan nilai pakaian. Faktanya, indeks termal ET dan SET lebih banyak faktor dipertimbangkan.

**Tabel 5.** Penelitian kenyamanan termal

No.	Year of Study	Principal Researcher	Location	Place	Comfort Temp. (°C)	Thermal Index
1	1937	Mom [53]	Bandung, Indonesia	Climate Chamber/Indoor	26	$T_{op}$
2	1952	Ellis [54]	Singapore	Ship/Indoor	30	$T_{op}$
3	1953	Ellis [55]	Singapore	House, Office/Indoor	24.5-27.8	$T_{op}$
4	1958	Webb [56]	Singapore	House/Indoor	28.8	$T_{op}$

5	1967	Ballantyne [57]	Port Moresby	House/Indoor	25	T op
6	1979	Ballantyne [58]	Port Moresby	House/Indoor	25–26.7	T op
7	1986	de Dear [59]	Singapore	Residential, office/Indoor	24.2	T op
8	1990	de Dear [60]	Singapore	Climate Chamber/Indoor	25.4	T op
9	1990	de Dear [61]	Singapore	Climate Chamber/Indoor	27.6–27.9	T op
10	1993	Karyono [62]	Jakarta, Indonesia	Offices/Indoor	26.4	T op
11	2000	Karyono [63]	Jakarta, Indonesia	Offices/Indoor	26.7	T op
12	2004	Feriady-Wong [64]	Yogyakarta, Indonesia	House/Indoor	26	T op
13	2005	Karyono [65]	Bandung, Indonesia	Classroom/Indoor	24.7	T op
14	2011	Azizpour [66]	Malaysia	Hospital/Indoor	20.3–23.6	ET
15	2013	Karyono [67]	Jakarta, Indonesia	Classroom/Indoor	24.1	T op
16	2013	Karyono [67]	Jakarta, Indonesia	Classroom/Indoor	24.9	T op
17	2015	Karyono [68]	Jakarta, Indonesia	Cathedral, Bank, Market/Indoor	27.3-27.7	T op
18	2015	Siti Aisyah [69]	Bandung, Indonesia	Campus, office/Indoor and Outdoor	24.7–27.5	T op

## 2. Standar Kenyamanan Termal ASHRAE

Kenyamanan termal adalah keadaan pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal yang sangat subjektif untuk semua orang. Ada variasi yang besar dari setiap orang secara fisiologis dan psikologis sehingga sulit untuk memuaskan semua orang di suatu ruangan. Kondisi lingkungan yang diperlukan untuk kenyamanan tidak sama untuk setiap pengguna atau penghuni. Sensasi termal adalah perasaan sadar yang umumnya digolongkan ke dalam kategori, dingin, sejuk, agak dingin, netral, sedikit hangat, hangat, dan panas. Hal ini membutuhkan evaluasi subjektif.

Ada enam faktor utama yang harus diperhatikan ketika menentukan kondisi untuk kenyamanan termal. Sejumlah faktor sekunder lainnya mempengaruhi kenyamanan dalam beberapa keadaan. Enam faktor utama adalah sebagai berikut:

- Tingkat metabolisme
- Jenis pakaian
- Temperatur udara
- Temperatur radiasi (efek dari radiasi matahari)
- Kecepatan udara
- Kelembaban

Keenam faktor ini dapat bervariasi sesuai tempat, waktu dan keadaan. Namun, standar ini hanya membahas kenyamanan termal dalam kondisi yang ideal. Akibatnya, orang yang memasuki ruang yang memenuhi persyaratan standar ini mungkin tidak langsung merasa nyaman jika mereka telah mengalami kondisi lingkungan yang berbeda sesaat sebelum memasuki ruang. Efek paparan atau aktivitas sebelumnya dapat mempengaruhi persepsi kenyamanan selama kurang lebih satu jam.

Selain itu, ada juga yang mengklasifikasi faktor termal lebih rinci, seperti berikut ini:

Faktor lingkungan

- Temperatur udara
- Kelembaban udara
- Pergerakan udara
- Radiasi

Faktor individu

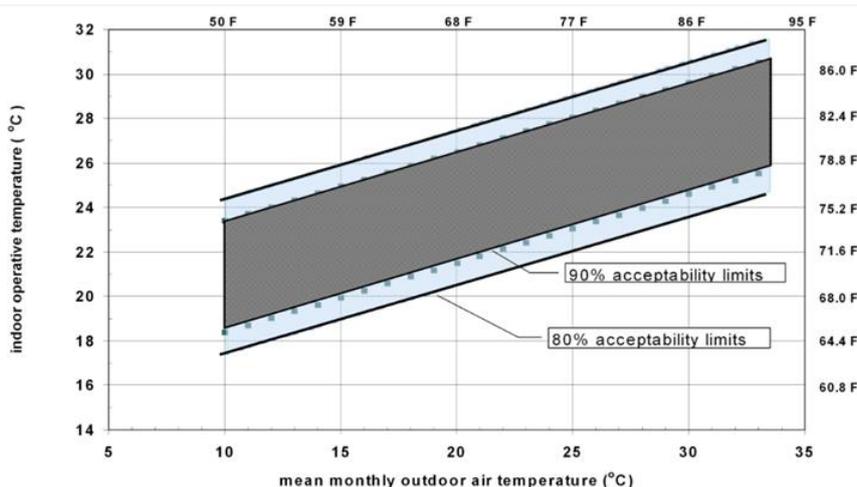
- Metabolisme tubuh
- Aktivitas
- Pakaian

Faktor penunjang

- Makanan dan minuman
- Adaptasi
- Bentuk tubuh
- Lemak tubuh
- Umur dan jenis kelamin
- Kondisi kesehatan

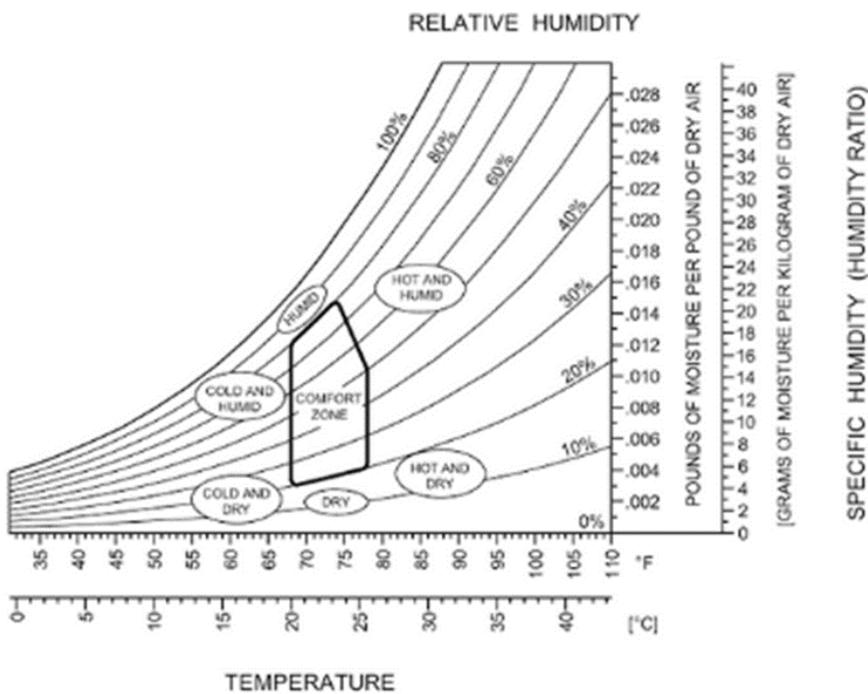
Ruangan berkondisi alami atau *passive design* yang dikendalikan penghuni adalah ruang di mana kondisi termal ruang diatur terutama oleh penghuni melalui pembukaan dan penutupan jendela. Eksperimen lapangan telah menunjukkan bahwa respons termal penghuni di ruang seperti itu tergantung pada iklim luar ruangan dan berbeda dari respons termal pada bangunan dengan sistem HVAC terpusat terutama karena pengalaman termal yang berbeda, perubahan pakaian, ketersediaan kontrol, dan pergeseran harapan warga. Metode opsional ini ditujukan untuk ruangan semacam itu.

Agar metode opsional ini dapat diterapkan, ruang yang dimaksud harus dilengkapi dengan jendela yang dapat dioperasikan yang terbuka ke luar dan dapat dengan mudah dibuka dan disesuaikan oleh penghuni rumah. Tidak boleh ada sistem pendingin mekanis untuk ruangan (misalnya, pendingin udara berpendingin, atau pendingin penguering). Ventilasi mekanis (*active design*) dengan udara tidak berkondisi dapat digunakan, tetapi membuka dan menutup jendela harus menjadi sarana utama untuk mengatur kondisi termal di dalam ruangan. Ruang dapat disediakan sistem pemanas, tetapi metode opsional ini tidak berlaku saat sistem pemanas beroperasi. Ini hanya berlaku untuk ruang di mana penghuninya terlibat dalam aktivitas fisik yang hampir tidak bergerak, dengan tingkat metabolisme mulai dari 1,0 hingga 1,3. Metode opsional ini hanya berlaku untuk ruang di mana penghuni dapat dengan bebas menyesuaikan pakaian mereka dengan kondisi termal dalam atau luar ruangan [24].



**Gambar 16.** Standar *Operative Temperature* (Sumber: ASHRAE)

*Operative temperature* ( $T_{op}$ ) dalam ruangan yang diizinkan untuk ruangan yang memenuhi kriteria ini dapat ditentukan dari Gambar 15. Angka ini mencakup dua set batas *operative temperature* ( $T_{op}$ ), satu untuk penerimaan 80% dan satu untuk penerimaan 90%. Batas penerimaan 80% adalah untuk aplikasi tipikal dan harus digunakan ketika informasi lain tidak tersedia. Batas penerimaan 90% dapat digunakan bila diinginkan standar kenyamanan termal yang lebih tinggi. Ini didasarkan pada model adaptif kenyamanan termal yang berasal dari database global 21.000 kali pengukuran, diambil terutama di gedung perkantoran.



**Gambar 17.** Zona nyaman pada grafik psychrometric (Sumber: ASHRAE)

Kombinasi tertentu dari temperatur udara dan kelembaban relatif (RH), gerakan udara, dan MRT (*Mean Radiant Temperature*) akan menghasilkan apa yang kebanyakan orang anggap sebagai kenyamanan termal. Ketika kombinasi temperatur udara dan RH yang nyaman diplot pada grafik *psychrometric*, mereka mendefinisikan area yang dikenal sebagai zona nyaman, ditunjukkan pada Gambar 16. Karena grafik *psychrometric* hanya menghubungkan temperatur dan kelembaban, dua faktor lainnya (pergerakan udara dan MRT) diadakan tetap. Penting untuk dicatat bahwa batas zona nyaman yang diberikan tidak mutlak, karena kenyamanan termal juga bervariasi menurut budaya, waktu dalam jangka setahun, kesehatan, jumlah lemak yang dibawa seseorang, jenis pakaian yang dikenakan, dan aktivitas fisik. Sementara kondisi yang dibutuhkan untuk kenyamanan termal bervariasi dari orang ke orang, zona nyaman harus menjadi tujuan dari desain termal bangunan karena mendefinisikan kondisi 80 persen orang di masyarakat yang merasa nyaman. Sebuah tampilan yang lebih rinci pada zona nyaman menunjukkan bahwa terdiri dari zona musim panas dan musim dingin (Gambar 16).

### 3. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia

Pemerintah Indonesia melalui Departemen Kementrian PUPR telah mengeluarkan standar kenyamanan termal ruang pada bangunan. Badan Standar Nasional (BSN) Indonesia mengeluarkan standar nasional sistem ventilasi dan konservasi energi. Standar ini dimaksudkan sebagai pedoman untuk perencanaan, arsitek, mahasiswa untuk manajemen bangunan untuk mendapatkan kenyamanan dan keamanan bagi pengunjung atau penghuni.

Standar Nasional Indonesia untuk standar sistem ventilasi harus memperhatikan kenyamanan termal. Standarnya adalah SNI 03-6572-2001 dengan indeks temperatur efektif (ET) 20,5°C sampai dengan 27,1°C. Alasan pemerintah menggunakan standar ET adalah karena Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis lembah dengan kelembaban relatif tinggi sepanjang

The screenshot shows the BSN website interface. At the top, there is a navigation menu with links: Home, Panitia Teknis, PNPS, RSNI, SNI, E-Ballot, Regulasi Teknis, LPK, and Dokumen. Below the menu is a search section titled 'Parameter Pencarian' with a search box containing '6572' and a dropdown menu set to '(Indonesia/English)'. There are checkboxes for 'SNI masih berlaku' (checked), 'SNI tidak berlaku (abolisi)', and 'Rancangan SNI (PNPS, RSNI, DT, RASNI)'. Below the search section is a table titled 'DAFTAR STANDAR NASIONAL INDONESIA' with the following data:

No	Nomor SNI	Judul (Indonesia)	Judul (Inggris)	Kode Panitia Teknis	ICS	Download SNI/ Ukuran
1	SNI 03-6572-2001	Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung	Codes for the design of ventilation and air-conditioning systems in buildings		91.140.30	

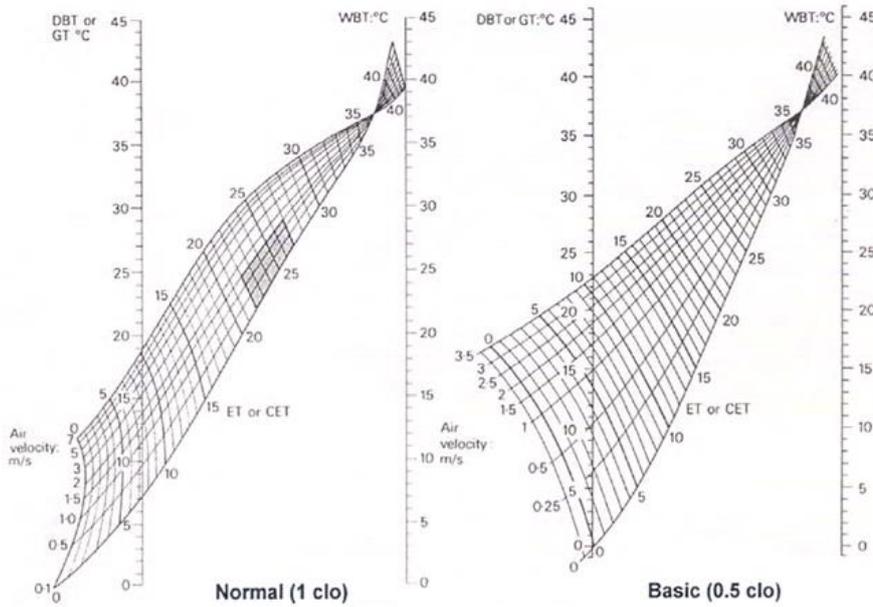
**Gambar 18.** Standar kenyamanan SNI 03-6572-2001 (Sumber: SNI)

Penentuan zona nyaman tidak hanya dilihat dari temperatur bola kering, tetapi juga memperhatikan kelembaban dan pergerakan angin. Indeks kenyamanan termal pada temperatur efektif untuk daerah tropis lembab dapat dibagi menjadi:

Nyamanan sejuk, antara ET 20.5°C ~22.8°C

Nyamanan optimal, antara ET 22.8°C ~25.8°C

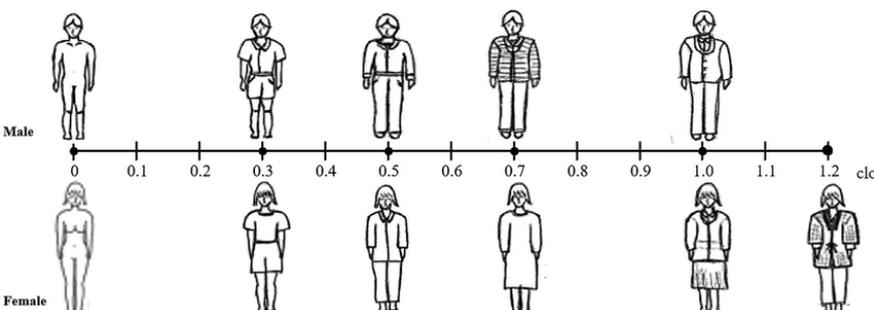
Nyamanan hangat, antara ET 25.8°C ~27.1°C



**Gambar 19.** Grafik Temperatur efektif

Houghton dan Yaglou adalah pengusul indeks temperatur efektif (ET) pada tahun 1923 pertama kalinya. Saat itu, Houghton dan Yaglou bekerja untuk *The American Society of Heating and Ventilating Engineers*. Kemudian oleh Houghton dan Yaglou dikembangkannya di laboratorium penelitian ASHRAE Pittsburgh: diwakili oleh satu set garis kenyamanan yang sama yang digambar pada grafik psychrometric. Temperatur efektif didefinisikan sebagai indeks lingkungan yang menggabungkan temperatur dan kelembaban udara menjadi suatu indeks, yang berarti bahwa pada temperatur tersebut respon termal setiap orang dalam kondisi tersebut adalah sama, meskipun memiliki temperatur dan kelembaban yang berbeda, tetapi keduanya harus memiliki kecepatan udara yang sama.

Temperatur efektif adalah indeks yang menggabungkan temperatur dan kelembaban menjadi suatu indeks, meskipun memiliki temperatur dan kelembaban yang berbeda, tetapi temperatur dan kelembaban harus memiliki kecepatan angin yang sama. Untuk menghitung temperatur efektif, menggunakan grafik temperatur efektif dan lebih khusus lagi grafik temperatur efektif *Basic* dengan 0,5 clo (Gambar 19), karena memperhitungkan pakaian yang sering digunakan masyarakat di Indonesia (Gambar 20).





**Gambar 21.** Perangkat lunak *CYTSOFT Psychrometric Chart*

Aplikasi kedua adalah *CYTSOFT Psychrometric Chart* (Gambar 21). *CYTSOFT Psychrometric Chart* merupakan aplikasi perangkat lunak percobaan gratis dari subkategori Sains, bagian dari kategori Pendidikan. Aplikasi saat ini tersedia dalam bahasa Inggris dan terakhir diperbarui pada 02-02-2009. Program ini dapat diinstal pada Win98, WinME, WinNT 4.x, Windows2000, WinXP, Windows2003, Windows Vista Starter, Windows Vista Home Basic, Windows Vista Home Premium, Windows Vista Business, Windows Vista Enterprise, Windows Vista Ultimate dan Window 10. *CYTSOFT Psychrometric Chart* juga dikenal sebagai program grafik psychrometric interaktif dan cerdas yang dirancang untuk industri terkait termodinamika, terutama HVAC dan pendinginan. Ini membantu para insinyur menghitung, menganalisis, menggambar, mengedit, mencetak, dan mengeksport kondisi dan proses udara lembab dengan cepat dan akurat.

Secara tradisional, udara lembab dimodelkan sebagai campuran dua gas ideal oleh sebagian besar grafik dan kalkulator psychrometric. Sebaliknya, *CYTSOFT Psychrometric Chart* memperoleh akurasi yang jauh lebih tinggi dan perluasan yang lebih besar berdasarkan lusinan formulasi yang dikembangkan oleh R. W. Hyland dan A. Wexler, yang laporannya diterbitkan oleh ASHRAE. Dengan demikian, produk ini sangat berguna di mana presisi tinggi diperlukan. Ini mencakup bagan yang sepenuhnya dapat disesuaikan di mana Anda dapat menggambar berbagai jenis objek (seperti CAD). Aplikasi *CYTSOFT Psychrometric Chart* untuk menghitung Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperature*). Dan membuat grafik psikometri pada zona nyaman SNI.

## 5. Kalkulator Kenyamanan Termal Berbasis Web

Aplikasi untuk kalkulator termal online ada beberapa perangkat, termasuk Perhitungan Psikrometrik yang dikembangkan oleh *The Sugar Engineers* (Gambar 22) dan *CBE Thermal Comfort*. Perhitungan Psikrometrik yang digunakan di sini untuk menghitung sifat udara lembab didasarkan pada hubungan sempurna yang diterbitkan dalam Buku Pegangan Dasar ASHRAE, yang seharusnya akurat. Namun, disarankan untuk membandingkan hasil yang dihitung oleh lembar kerja ini dengan grafik psychrometric. *CBE Thermal Comfort* dilisensikan di bawah Lisensi *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International*. Dikembangkan oleh: Tyler Hoyt, Stefano Schiavon, Alberto Piccioli, Dustin Moon dan Kyle Steinfeld. Berdasarkan pekerjaan di Pusat Lingkungan Buatan. Beberapa fitur (misalnya dokumentasi LEED) tidak berfungsi di versi IE terbaru, dan versi IE yang lebih lama mungkin tidak berfungsi sama sekali. Aplikasi ini direkomendasikan menggunakan Chrome, Firefox.

Kelebihan dari aplikasi Perhitungan Psikrometrik adalah mudah digunakan dan perhitungan lebih cepat, karena aplikasi ini merupakan kalkulator sederhana. Namun, aplikasi ini hanya menghitung faktor kenyamanan termal tanpa menyimpulkan kondisi kenyamanan termal pada grafik psikometri. Sementara *CBE Thermal Comfort Tools* lebih lengkap, faktor kenyamanan termal di bangunan ditampilkan langsung di grafik psikometri. Selain itu, untuk mendukung

perhitungan maksimal pada *CBE Thermal Comfort*, perlu juga menggunakan *Solar Calculator NOAA* untuk menghitung ketinggian atau elevasi matahari dan *software Rhinoceros 5 + Grasshopper + Ladybug* (Gambar 2.20) untuk simulasi kondisi lingkungan termal.

*Bilah 5*

**METODE PENGUKURAN  
KENYAMANAN PADA LINGKUNGAN**

Pengukuran kenyamanan perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan sekaligus melakukan evaluasi terhadap hasil perancangan arsitektur untuk dijadikan kajian dalam penemuan solusi terbaik. Teknik pengukuran ini dilakukan melalui survey lapangan kemudian dilakukan pengukuran untuk selanjutnya dilakukan perhitungan. Ada beberapa kriteria dalam perhitungan kenyamanan dan rumus-rumus perhitungannya seperti yang dijelaskan dibahas sebelumnya, berikut ini akan dipaparkan juga berbagai Teknik perhitungan lainnya dalam kenyamanan termal.

**1. Temperatur Efektif (ET)**

*Effective temperature* (ET) atau temperatur efektif awalnya dikembangkan oleh Houghten dan Yagloglou di laboratorium penelitian ASHVE Pittsburgh pada tahun 1923, diwakili oleh serangkaian garis kenyamanan yang sama yang digambar pada grafik psychrometric. Ini didefinisikan sebagai temperatur atmosfer yang tetap dan jenuh dan pada kondisi tidak ada radiasi, akan menghasilkan pengaruh yang sama seperti atmosfer yang ada. Merupakan penggabungan temperatur udara kering (Dry Bulb Temperature/DBT) dan kelembaban. Ini menjadi indeks yang paling banyak digunakan selama 50 tahun ke depan.

Temperatur efektif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$ET = DBT - 0.4 * (DBT - 10) * (1 - RH/100) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Yaglou pada tahun 1947, telah mencatat bahwa ET terlalu melebih-lebihkan pengaruh kelembaban, terutama pada temperatur yang lebih rendah. Smith (1955) menemukan bahwa hubungan tersebut tidak linier dan bahwa indeks P4SR (*Predicted 4-hour sweat rate*) memberikan korelasi yang lebih baik dengan penilaian kenyamanan. Demikian juga, Glickman dkk. (1950) juga menemukan bahwa ET terlalu berlebihan memasukkan pengaruh nilai kelembaban di bawah kondisi sejuk dan nyaman.

## 2. Temperatur Efektif Terkoreksi (CET)

ASHVE (1932) menerbitkan representasi nomogram dari indeks ET, yang mencakup efek kecepatan udara dan menunjukkan bahwa lebih dari sekitar 100°F (37,8°C) dan 100% RH, pergerakan udara meningkatkan beban termal. Vernon (1932) memasukkan pengaruh radiasi dengan mengganti nilai temperatur bola untuk skala temperatur bola kering, diadopsi juga oleh Bedford (1940). Ini dikenal sebagai nomogram CET (*Corrected effective temperature*). Selain itu, pakaian memiliki pengaruh besar pada radiasi dan pengaruh pergerakan angin, ia menghasilkan dua nomogram: untuk orang yang mengenakan pakaian 1 clo (skala normal) dan untuk orang yang ditelanjangi (skala dasar), lihat gambar 18.

Temperatur Efektif Terkoreksi (CET) dengan nilai kecepatan angin 0.1 m/s dirumuskan sebagai berikut:

Normal:	$CET = (1.21 GT - 0.21 WBT) / [1 + 0.029(GT - WBT)]$
Dasar:	$CET = (0.944 GT - 0.056 WBT) / [1 + 0.022(GT - WBT)]$

Smith (1955) menemukan bahwa di lingkungan yang panas, pengaruh kelembaban diabaikan dan bahwa pengaruh buruk kecepatan udara 0,5-1,5 m/s pada temperatur tinggi ditaksir terlalu tinggi. Namun Givoni (1963) menetapkan bahwa pergerakan udara di atas 32°C menghasilkan efek pemanasan yang lebih besar daripada yang disarankan oleh ET.

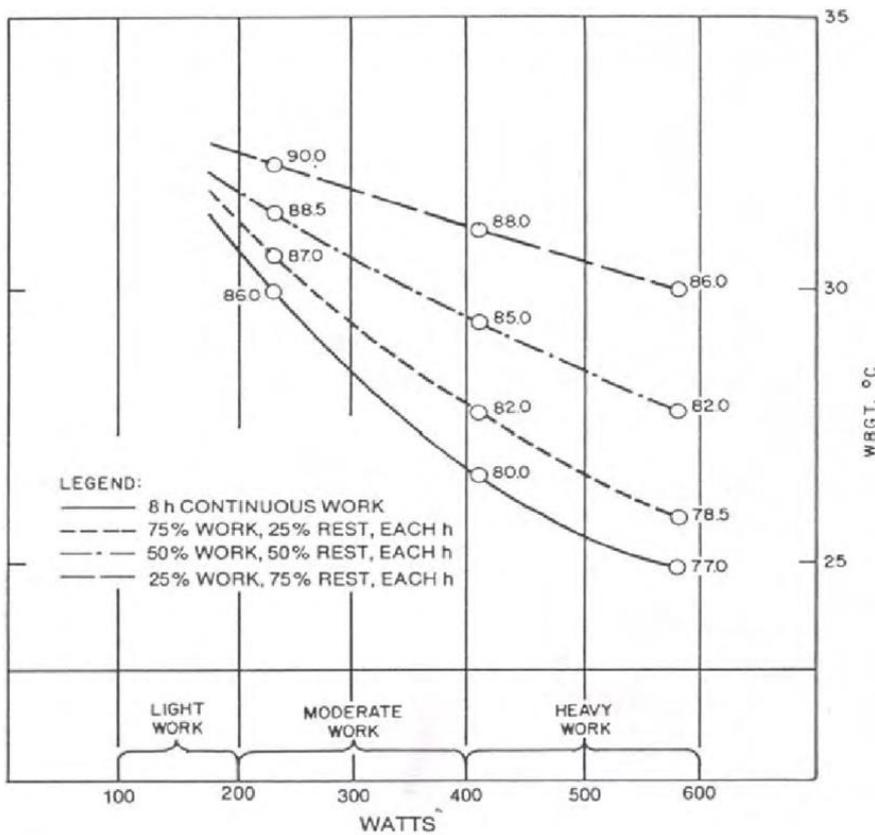
## 3. Temperatur Bola Basah (WBGT)

*Wet bulb globe temperature* (WBGT) telah dikembangkan oleh Yaglou dan Minard (1957) untuk pengukuran lapangan sederhana dari ET lama, untuk pengendalian korban panas di pusat pelatihan militer AS. Ini menunjukkan efek gabungan dari temperatur udara, panas radiasi temperatur rendah, radiasi matahari dan pergerakan udara. Ini adalah rata-rata tertimbang DBT, WBT berventilasi alami dan temperatur globe, untuk penggunaan di luar ruangan

(termasuk adanya radiasi matahari). Untuk penggunaan di dalam ruangan, istilah DBT dihilangkan.

Wet bulb globe temperature (WBGT) dirumuskan sebagai berikut:

Ruang dalam:	$WBGT = 0.7 * WBT + 0.3 * GT$
Ruang luar:	$WBGT = 0.7 * WBT + 0.2 * GT + 0.1 * DBT$
<i>(perhitungan ini menggunakan kondisi ruangan dengan ventilasi alamai)</i>	



Gambar 22. Hubungan antara WBGT dan batas paparan panas yang diizinkan

#### 4. Operative Temperature (OT)

Temperatur operasi dikenalkan oleh Winslow, Herrington & Gagge, didefinisikan sebagai temperatur seragam, selungkup "hitam" isothermal di mana manusia akan bertukar panas dengan radiasi dan konveksi pada tingkat yang sama seperti di lingkungan non-seragam yang diberikan; atau sebagai rata-rata MRT dan DBT yang dibobot dengan koefisien transfer masing-masing, dirumuskan sebagai berikut:

$$OT = \frac{h_r MRT + h_c DBT}{h_r + h_c}$$

Dimana  $h_r$  dan  $h_c$  koefisien radiasi dan konveksi

Indeks ini mengintegrasikan pengaruh temperatur udara dan radiasi, tetapi mengabaikan kelembaban dan pergerakan angin. Penelitian khusus dilakukan dalam kondisi dingin, di mana pengaruh kelembaban kecil dan pergerakan udara dalam ruangan dapat diabaikan.

Rumus untuk mempertibangkan pergerakan udara atau angin adalah sebagai berikut:

$$OT = \frac{h_r MRT + h_c \left[ DBT \sqrt{\frac{v}{v_o}} - t_{sk} \left( \sqrt{\frac{v}{v_o}} - 1 \right) \right]}{h_r + h_c}$$

Dimana,  $v$  pergerakan udara (m/s)

$v_o$  referensi kecepatan udara (0.076 m/s)

$t_{sk}$  temperature kulit/permukaan

$h_c$  koefisien konveksi diambil pada

$$v_o = 8.3 \times 0.076^{0.6} = 1.77$$

$h_r$  nilai koefisien radiasi adalah 4.7

Jika  $MRT = DBT$  dan pergerakan udara diabaikan, maka  $OT = DBT$

ASHRAE sekarang menyarankan bahwa rata-rata sederhana memberikan hasil yang dapat diterima adalah sebagai berikut:

$$OT = \frac{MRT + DBT}{2}$$

Sebuah definisi alternatif dari persamaan keseimbangan panas adalah:

$$R + C = h \cdot OT - T_{permukaan} = h \cdot OT - t_{sk} \cdot F_{cl}$$

Dimana  $h = h_r + h_c$  (Koefisien permukaan radiasi dan konveksi) dan efisiensi termal pada pakaian sebagai berikut:

$$F_{cl} = \frac{1}{1 + 0.155 f_{cl} h * I_{cl}}$$

Dimana  $I_{cl}$  adalah unit clo dan faktor pakaian adalah rasio permukaan tubuh dengan pakaian

$$f_{cl} = A_{cl}/A_D$$

Namun indeks ini dianggap tidak sesuai di atas 27°C karena tidak mempertimbangkan pelepasan panas evaporative (Givoni, 1962)

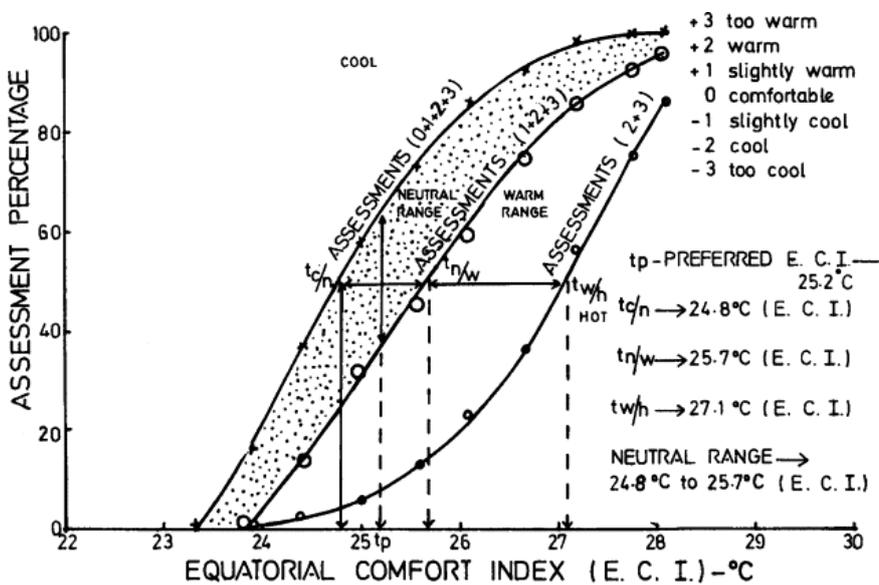
### 5. Indeks Kenyamanan Khatulistiwa (ECI)

*Equatorial comfort index* (ECI) dikembangkan oleh Webb yang sedang bekerja di Malaysia dan Singapura. Ini adalah pengembangan lebih lanjut dari 'Singapore index' yang terbit pada tahun 1959, berdasarkan sekitar 393 kali pengamatan. Respon subyektif dicatat dari subyek yang sepenuhnya menyesuaikan individu yang terlibat dalam pekerjaan tetap dan ringan, bersama dengan pengukuran temperatur udara, kelembaban dan pergerakan udara. Data Bedford (1936) dan Mc Ardle et al. (1947) juga digunakan dalam analisis ini. Hubungan diatur untuk menghasilkan rumusan dan dinyatakan dalam grafik yang agak mirip dengan nomogram ET. Grafik kecil atas di sebelah kanan membantu interpretasi hasil dalam hal 'persentase kepuasan'.

Indeks kenyamanan khatulistiwa didefinisikan sebagai temperatur atmosfer yang tenang dan jenuh yang secara fisiologis setara dengan iklim yang bersangkutan. Indeks tidak memungkinkan untuk tingkat aktivitas atau pakaian yang berbeda dengan subjek pengamatan. Ini diklaim sesuai untuk iklim di luar isoterm WBT 24°C yaitu di iklim hangat-lembab. Persamaan indeks diberikan sebagai berikut:

$$ECI = WBT + X (DBT - WBT) - Y (\sqrt{v})$$

Koefisien X dan Y diberikan dalam bentuk grafik (kanan dan bawah), sebagai fungsi ECI, sehingga beberapa iterasi mungkin diperlukan uji coba.



**Gambar 23.** Grafik indeks kenyamanan khatulistiwa

## 6. Tropical summer index (Tsi)

Indeks musim panas di iklim tropis dikembangkan pada pertengahan 1980-an di Central Building Research Institute, Roorkee (India), untuk kondisi iklim yang lazim di negara tersebut dan untuk menyesuaikan dengan kebiasaan hidup masyarakat India. Didefinisikan sebagai temperatur udara tetap, pada kelembaban relatif 50% sehingga menyebabkan sensasi termal yang sama dengan kondisi lingkungan tertentu. Ekspresi matematisnya agak mirip dengan WBGT, tetapi mencakup efek pendinginan kecepatan udara dan konstanta empiris berbeda:

$$Tsi = 0.308WBT + 0.745GT - 2.06 \sqrt{v} + 0.841$$

Dimana WBT = Wet Bulb Temperature (°C)

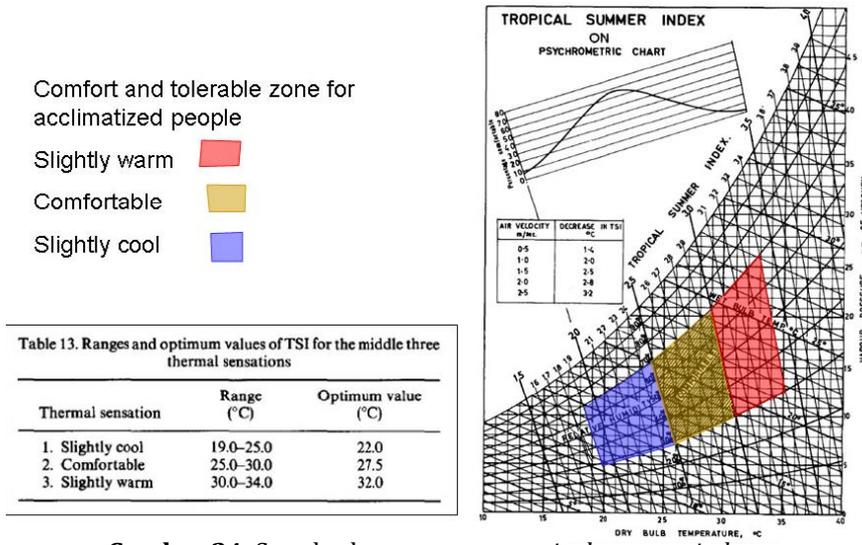
GT = Globe Temperature (°C)

$v$  = Pergerakan udara (m/s)

Untuk perhitungan cepat, dapat disederhanakan seperti berikut:

$$Tsi = \frac{1}{3}WBT + \frac{3}{4}GT - 2\sqrt{v}$$

Jika nilai GT tidak tersedia, maka nilai GT dapat dianggap sama dengan DBT (*Dry Bulb Temperature*). Jika tersedia pengukuran intensitas radiasi matahari, maka nilai GT dapat diperkirakan sebagai 1 K lebih tinggi untuk setiap penyinaran 90 W/m<sup>2</sup>. Kelebihan Tsi terletak pada fakta bahwa itu mudah dihitung dan didasarkan pada kondisi iklim dan sosial setempat (kebiasaan, pakaian, dll.) Belum diuji di luar negara itu. Garis Tsi yang sama digambar pada grafik psychrometric untuk kondisi udara diam. Nilai Tsi kemudian dapat dikurangi untuk kecepatan udara seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 24. Standar kenyamanan tropical summer index

### 7. Predicted mean vote (PMV)

Vote rata-rata (Y) dari sejumlah besar studi telah dihubungkan dengan beban termal (TL/Thermal Load) dan menghasilkan persamaan berikut:

$$Y = \left( 0.352 \exp\left(-0.042 \frac{M}{A_D}\right) + 0.032 \right) TL$$

Dimana, Y = Mean Vote

TL = Thermal Load

M = Metabolic Rate

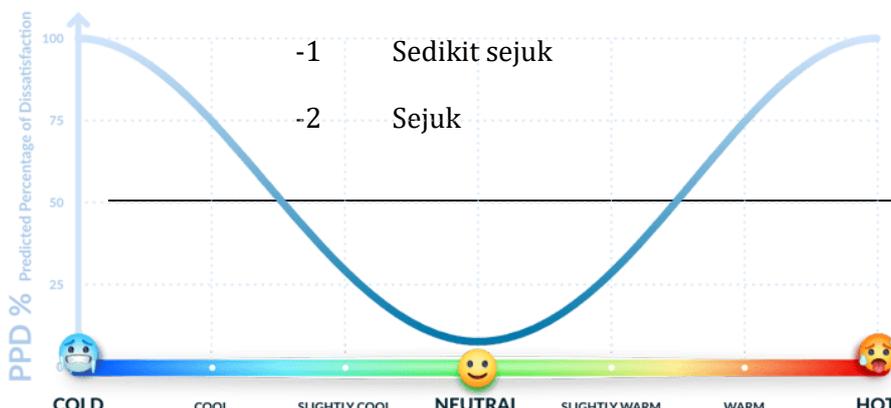
$A_D = 0.202 m^{0.425} h^{0.725}$  (luas permukaan kulit)

m = Berat badan (kg)

h = Tingg badan (m)

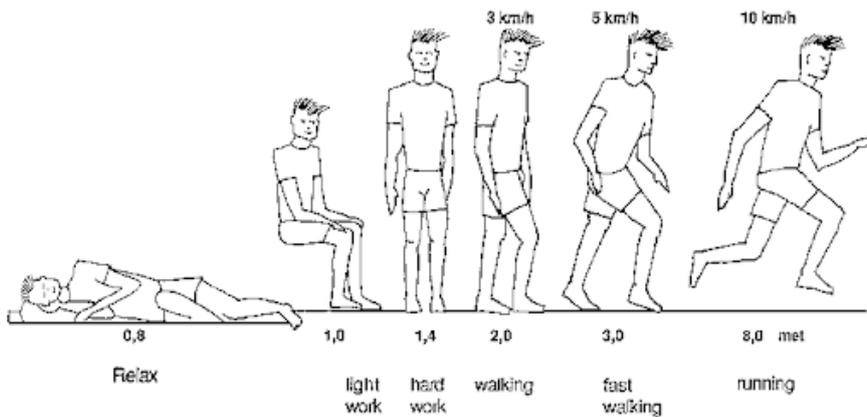
PMV dinyatakan dalam skala kenyamanan ASHRAE yang ditunjukkan berikut ini:

- 3 Panas
- 2 Hangat
- 1 Sedikit hangat
- 0 Netral
- 1 Sedikit sejuk
- 2 Sejuk



**Gambar 25.** Standar kenyamanan *PMV* berdasar ASHRAE

Pemeriksaan sejumlah besar data uji menunjukkan bahwa sekitar 5% dari populasi akan merasa tidak puas bahkan di bawah kondisi "terbaik", pada tingkat  $PMV = 0$  terbaik. Dengan berangkat dari ini, persentase tidak puas meningkat pesat. Kurva empiris di bawah ini menunjukkan *PPD* (*predicted percentage dissatisfied*) sebagai fungsi dari *PMV*, perhatikan bahwa setidaknya 5% dari populasi akan tidak puas bahkan di bawah kondisi "terbaik".



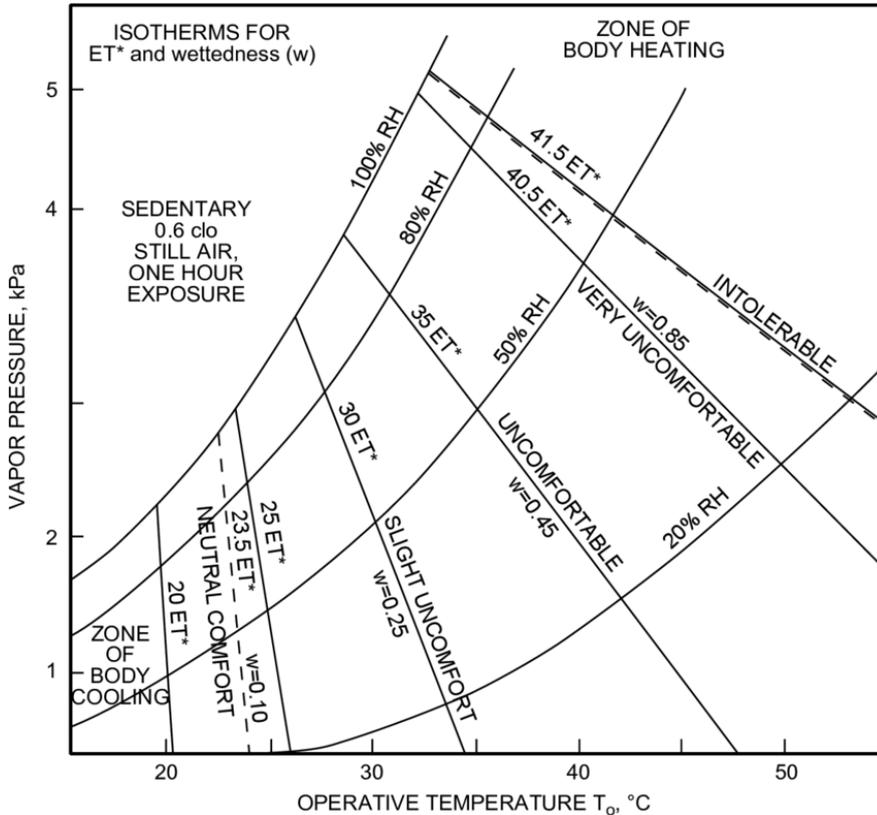
**Gambar 26.** Standar metabolisme tubuh berdasarkan aktivitas

**Tabel 6.** Tingkat metabolisme tubuh terhadap aktivitas

Activity	Metabolic Rate (Met)
<b>Resting</b>	
Sleeping	0.8
Seating, quiet	1.0
Standing, relaxed	1.2
<b>Sport and Activities</b>	
Archery	4.3
Badminton	5.5
Basketball	8.0
Bicycling	7.5
Boxing	12.8
Calisthenics	3.5
Dancing	7.8
Fencing	6.0
Fishing	3.5

## 8. New Effective Temperature (ET\*)

ET\* telah dikembangkan menggunakan 'dua model' seperti yang dijelaskan sebelumnya. Ini didefinisikan sebagai temperatur (DBT) dari kondisi seragam pada 50% kelembaban relatif, akan menghasilkan pertukaran panas bersih dari radiasi, konveksi dan penguapan sebagai lingkungan yang diamati.



**Gambar 27.** Grafik standar kenyamanan ET\*

Garis ET\* bertepatan dengan nilai DBT pada kurva RH 50%. Radiasi diperhitungkan dengan menggunakan OT pada skala horizontal, bukan DBT. Garis ET\* ditunjukkan pada grafik psychrometric untuk kondisi berikut: pakaian: 0,6 clo, aktivitas: 1 met, pergerakan udara = < 0,2 m/s, waktu paparan: 1 jam, seperti gambar berikut:

Garis ET lama sejajar dengan garis 30°C ET\* dan untuk pergerakan udara tinggi garis WBGT sejajar dengan garis 35°C ET\*. Garis ET\* menunjukkan korespondensi yang baik dengan isoterm untuk kelembaban kulit, temperatur kulit, vote ketidaknyamanan dan detak jantung.

Batas kenyamanan atas pada musim panas, untuk subjek yang mengenakan pakaian 0,5 clo diatur sebagai 26°C ET\* dengan pergerakan udara 0,2 m/s. Ini dapat diperpanjang 1 K untuk setiap peningkatan kecepatan udara 0,275 m/s, hingga 28°C ET\* dengan kecepatan udara 0,8 m/s.

Kemiringan garis ET\* menunjukkan ketidakaturan (terbentuk oleh proses geometrik yang rumit seperti dijelaskan di atas). Untuk memudahkan penggunaan ET\* dalam algoritma komputer, sebuah fungsi sederhana telah dihasilkan yang mendekati garis ET\* (Szokolay, 1991): kemiringan negatif X/Y = 0,023 (T-14). (sampai 14°C garis ET\* vertikal, sama seperti DBT).

## 9. Standard Effective Temperature (SET)

SET telah ditafsirkan oleh Gagge et al. (1986) sebagai sub dari ET\* di bawah kondisi standar: pakaian standar untuk aktivitas tertentu. Kemudian proses standarisasi dilanjutkan dalam hal laju metabolisme dan pakaian dan menetapkan bahwa perubahan terbalik clo dapat mengkompensasi peningkatan yang terpenuhi. Jadi kesetaraan berikut disarankan:

<b>Met</b>	<b>Clo</b>
1	0.67
1.25	0.57
2	0.39
3	0.26
4	0.19

Prosedur pengukuran adalah menentukan DBT dan MRT (atau OT), kemudian kecepatan udara (v), mengevaluasi laju metabolisme (M) dan pakaian (clo), kemudian memprediksi temperatur tubuh rata-rata (Tb) (dengan menggunakan dua simpul model). Tb telah dihitung untuk berbagai tingkat metabolisme, tingkat pakaian, pergerakan udara dan tekanan atmosfer, serta temperatur udara, temperatur radiasi rata-rata dan kelembaban yang dipenuhi oleh SET. Untuk kondisi standar (1,1 terpenuhi) diambil sebagai 36,35 °C dan dapat melihat tabel berikut sebagai panduan:

<b>SET</b>	<b>Tb</b>
10	33.90
14	34.55
18	35.63
22	36.27
26	36.44
30	36.55
34	36.67
38	36.78
42	36.97

SET memberikan dasar rasional untuk mengukur kesetaraan dari setiap kombinasi faktor lingkungan, pakaian dan tingkat metabolisme.

**Tabel 7.** SET terhadap sensasi dan fisiologis

<b>SET</b>	<b>Vote</b>	<b>Sensasi</b>	<b>Fisiologi</b>
> 37.5	> 3	very panas, sangat tidak nyaman	termasuk kegagalan regulasi penguapan
37.5-34.5	+2 to +3	panas, sangat tidak dapat diterima	berkeringat banyak
34.5-30	+1 to +2	hangat, tidak nyaman, tidak dapat diterima	berkeringat

<b>SET</b>	<b>Vote</b>	<b>Sensasi</b>	<b>Fisiologi</b>
30-25.6	+0.5 to +1	sedikit hangat, tidak dapat diterima	sedikit berkeringat, vasodilatasi
25.6-22.2	-0.5 to +0.5	nyaman, dapat diterima	netralitas termal fisiologis
22.2-17.5	-1 to -0.5	sedikit sejuk, sedikit tidak dapat diterima	vasokonstriksi awal
17.5-14.5	-2 to -1	sejuk, tidak dapat diterima	tubuh mulai dingin
14.5-10	-3 to -2	dingin, sangat tidak diterima	tubuh mulai menggigil

*Bilah 6*

**TEKNIK PENGUKURAN  
DAN STUDI KASUS**

Teknik pengukuran merupakan hal penting yang harus diperhatikan untuk mengasihkan akurasi dan validasi data secara maksimal khususnya penelitian kuantitatif. Penelitian kualitatif berdasarkan data-data kuantitatif yang dikumpulkan dari hasil pengukuran langsung di lapangan. Data-data hasil pengukuran langsung dalam prediksi kenyamanan lingkungan adalah temperatur permukaan material dan temperatur bola kering (DBT) yang menjadi indikator panas, data lain yang menjadi penunjang adalah data kelembaban relatif (RH) dan kecepatan pergerakan angin ( $v$ ) di lingkungan sekitar tempat dilakukan pengukuran. Selanjutnya data radiasi matahari ( $R$ ), karena sinar matahari merupakan sumber utama yang mempengaruhi termal bangunan dan lingkungan.

Lokasi penelitian juga perlu diperhatikan, yaitu memilih tempat yang cocok sesuai dengan permasalahan yang diangkat. Faktor kondisi lingkungan mempengaruhi hasil data yang akan didapatkan. Sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu survey lapangan (survey pendahuluan) untuk menentukan tempat yang cocok dan aman dalam proses pengumpulan data. Saat survey pendahuluan lakukan wawancara singkat dengan warga sekitar untuk mengetahui kondisi lingkungan lebih banyak lagi.

Setelah tempat dan lokasi pengukuran didapat, selanjutnya membuat penjadwalan penelitian, mekanisme pengukuran dan alat-alat pengukuran yang diperlukan serta personil yang akan membantu dalam pengukuran. Alat-alat ini digunakan saat proses survey lapangan hingga perekaman momen-momen penting yang berkaitan dengan penelitian Pertimbangan iklim makro dan iklim mikro juga perlu dipertimbangkan dalam proses pengukuran, misalnya pengukuran dilakukan pada musim panas atau musim hujan, kemudian berapa lama waktu pengukuran. Data-data yang sudah dikumpulkan kemudian dianalisis dan diolah sesuai metode prediksi kenyamanan yang dipilih misalkan indek PMV atau SET. Untuk memperkuat validasi hasil pengukuran, juga dapat ditambahkan perhitungan dengan perangkat lunak untuk simulasi. Simulasi dapat menjadi variabel kontrol dari proses pengukuran, misalkan menggunakan data *Energy Plus (Energy+)* sebagai pembanding.

## 1. Prosedur dan Langkah-langkah Pengukuran

Setelah mengidentifikasi permasalahan pengukuran saat survey pendahuluan, selanjutnya dilakukan pendataan sesuai dengan ruang lingkup yang sudah ditetapkan. Langkah-langkah utama dalam pengukuran adalah:

- Menentukan variabel masalah yang akan diimplementasikan
- Menentukan lokasi dan tempat pengukuran
- Penunjang pengumpulan data adalah:
  1. Teori yang berkaitan dengan iklim tropis, dan termal
  2. Data lapangan: data foto kondisi lingkungan, dan data pengukuran termal
- Jumlah titik ukur, tetentukan sesuai kebutuhan. Semakin banyak jumlah titik ukur akan

semakin baik

- Menyusun waktu pengukuran, misalkan:
  1. Pengukuran intensitas penyinaran matahari dari jam 6 pagi - 6 sore, bertujuan untuk mengetahui intensitas penyinaran matahari di luar ruangan, sekaligus melakukan pengukuran kelembaban relatif, temperatur bola kering (DBT) dan kecepatan angin.
  2. Pengukuran kelembaban relatif dari jam 6 pagi sampai jam 5 pagi atau 24 jam.
  3. Pengukuran temperatur bola kering (DBT) di luar ruangan dari jam 6 pagi sampai jam 5 pagi atau 24 jam
  4. Pengukuran kecepatan angin di luar ruangan
- Setelah data pengukuran, survey dan wawancara, tahap selanjutnya adalah pengolahan data. Contoh, langkah-langkah pengolahan data adalah:
  1. Memproses data lingkungan
  2. Data pengukuran lingkungan termal dari semua lokasi dimasukkan ke dalam tabel menggunakan perangkat lunak excel
  3. Data temperatur bola basah diproses menggunakan grafik psikometri dan perangkat lunak Sugar Engineers
  4. Setelah diketahui data temperatur wet bulb. Data tersebut akan dimasukkan ke dalam bagan temperatur afektif. Setelah data temperatur efektif diketahui, kemudian dimasukkan ke dalam software Excel untuk melihat kondisi kenyamanan termalnya
  5. Terakhir, setelah semua data telah dimasukkan ke dalam tabel dan dibuat grafik untuk mencari kesimpulan penelitian



**Gambar 28.** Teknik pemasangan alat saat pengukuran

Pengukuran lapangan perlu ditunjang oleh alat-alat dan penunjangnya sesuai kebutuhan dan materi data yang diperlukan, berikut adalah alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran prediksi kenyamanan lingkungan:

- Solar meter
- Data logger-4HC untuk:
- temperatur dan
- kelembaban
- Anemometer untuk kecepatan udara
- Perlengkapan tulis
- Alat ukur panjang
- Tripod

- Payung
- Kamera
- Perangkat Lunak



**Gambar 29.** Contoh alat-alat pengukuran

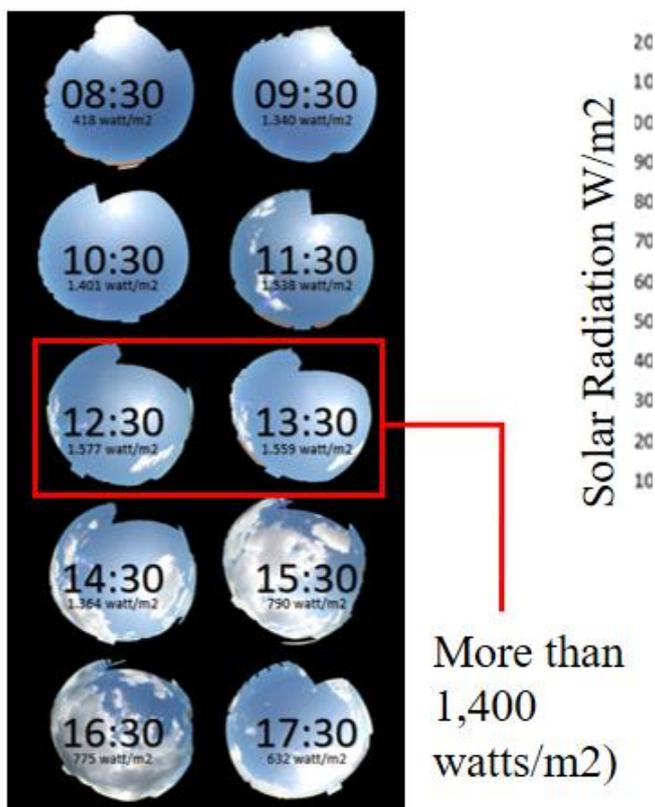
Sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi adalah:

- *Shortwave solar calculator*
- *Solar position calculator*
- *Rhinoceros 5 software*
- *Grasshopper software*

- *Ladybug software*
- *Honeybee software*

Selain itu, aplikasi ini dapat menggunakan energy plus data bank sehingga dapat mengamati kondisi kenyamanan termal suatu tempat secara lebih detail. Langkah demi langkah metode simulasi adalah sebagai berikut:

- 1) Hasil survey berupa peta: area dan lokasi, selanjutnya diolah dalam software belalang berdasarkan observasi di lapangan.
- 2) Sketsa bentuk bangunan berdasarkan hasil survey dan foto di lapangan, kemudian diolah dalam *grasshopper software*.
- 3) Setelah gambarnya selesai. Peta dan gambar bangunan tersebut dikolaborasikan untuk memberikan informasi tentang kondisi di lokasi dan tempat belajar.
- 4) Impor data Energi + dalam perangkat lunak belalang.
- 5) Jalankan aplikasi honeybee di *grasshopper software*, dan masukan titik koordinat berdasarkan tempat penelitian.
- 6) Pengaturan kondisi bangunan dan lingkungan dalam penerapan lebah madu, seperti material, orientasi, dan posisi.
- 7) Render, dan simulasi hasil ditampilkan dalam *grasshopper software* berdasarkan desain model.

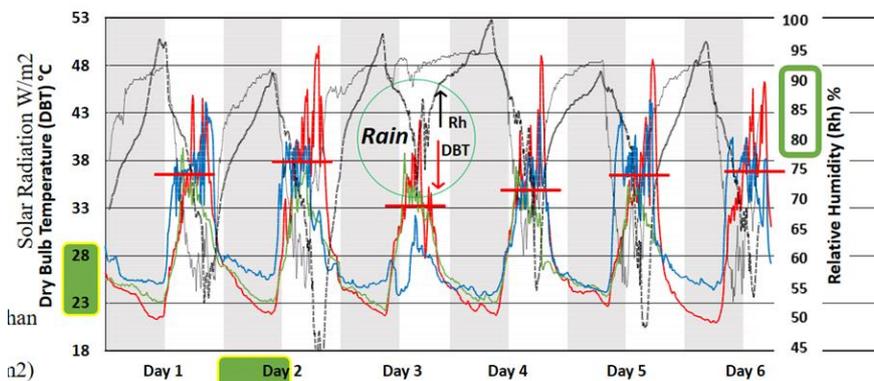


Gambar 30. Hasil pengukuran radiasi matahari

## 2. Contoh Hasil Pengukuran dan Simulasi Radiasi

Pengukuran radiasi matahari siang hari di lokasi pengukuran menunjukkan radiasi matahari sekitar  $1.400 \text{ W/m}^2$  antara pukul 11.00 - 13.00. Nilai ini relatif sama selama beberapa hari pengukuran saat langit tidak berawan (cerah). Namun, saat matahari tertutup awan atau mendung, radiasi matahari turun sekitar  $300\text{-}400 \text{ W/m}^2$ . Sudut ketinggian matahari antara  $25^\circ\text{-}90^\circ$  menyebabkan radiasi tinggi antara  $900\text{-}1.400 \text{ W/m}^2$  atau antara jam 9 pagi - 3 sore.

Berdasarkan hasil pengukuran, tingginya radiasi matahari mempengaruhi temperatur dan kelembaban relatif. Temperatur permukaan lahan basah pada siang hari bisa mencapai  $40^\circ\text{C}$ , terjadi hampir sama di setiap lokasi penelitian. Sementara itu, kelembaban relatif pada siang hari turun dengan cepat seiring peningkatan radiasi. Kelembaban relatif antara jam 1 siang sampai jam 2 siang berkisar antara  $50\%\text{-}60\%$ . Berdasarkan wawancara, saat kecepatan angin di bawah  $1 \text{ m/s}$ , warga merasakan panas dan keringat yang hebat akibat tingginya radiasi matahari. Hal ini juga membuktikan bahwa panas di lahan basah tinggi saat radiasi matahari tinggi. Selain itu, kondisi lahan basah dengan minimnya vegetasi mempercepat peningkatan temperatur dan panas lingkungan serta mempengaruhi kondisi termal.

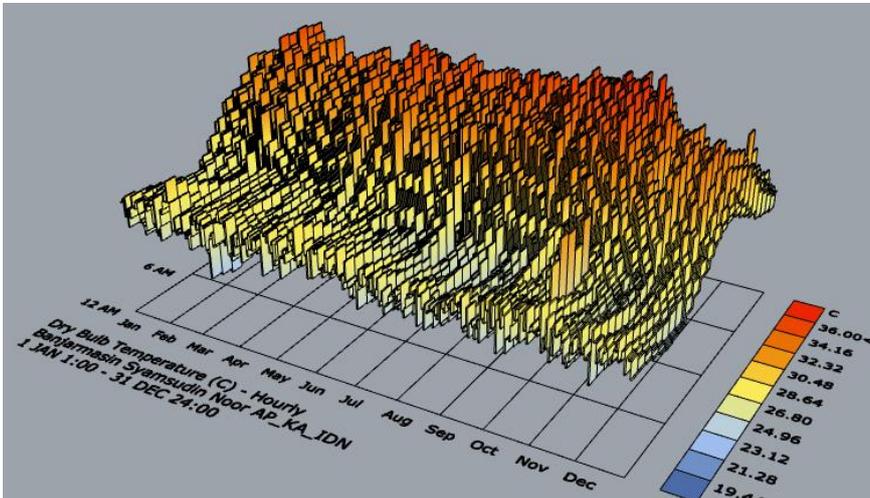


**Gambar 31.** Contoh hasil pengukuran temperature dan kelembaban relatif

Karakteristik termal di lahan basah menunjukkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.b. Pengukuran yang dilakukan setiap selama 24 jam, sesuai Langkah-langkah pengukuran, menunjukkan karakteristik yang sama. Alat ukur mencatat kondisi panas pada pagi, siang, sore dan malam. Kondisi kelembaban dan temperatur terekam memiliki nilai berlawanan arah, ketika temperatur meningkat maka kelembaban relatif menurun. Sedangkan kecepatan angin pada siang hari relatif lebih tinggi dibandingkan pada malam hari dan kecepatan angin meningkat pada saat akan hujan. Temperatur permukaan lahan basah meningkat dari hari ke hari ketika kelembaban relatif juga menurun. Temperatur meningkat setiap hari saat kondisi kering antara  $0.8\text{-}1^\circ\text{C}$ , sedangkan kelembaban relatif menurun antara  $4\%\text{-}7\%$  per hari. Namun, kondisi ini bisa berubah saat hujan antara 1-2 jam, dan akan menurunkan temperatur hingga  $5^\circ\text{C}$  keesokan harinya. Survei lapangan juga menunjukkan bahwa lahan gambut yang hanya ditumbuhi semak belukar tanpa pepohonan yang lebat menyebabkan lahan mudah terbakar ketika temperatur permukaan lahan gambut di atas  $40^\circ\text{C}$ .

Berdasarkan hasil simulasi termal lingkungan di lahan basah, memiliki kesamaan termal lingkungan antara lokasi pengukuran, karena memiliki karakter lahan yang sama. Pada bulan Mei hingga Agustus saat pengukuran langsung lapangan dilakukan, kondisinya sama.

Perbedaan hanya terjadi karena adanya perbedaan kondisi cuaca. Temperatur tinggi disebabkan oleh radiasi matahari langsung yang tinggi sekitar 1400 W / m<sup>2</sup> bahkan lebih, sedangkan. Selain itu, tingginya temperatur disebabkan lamanya penyinaran di musim panas dan kondisi lahan yang hanya ditumbuhi rerumputan atau tanaman perdu, tanpa pepohonan yang berfungsi melindungi permukaan tanah.



Gambar 32. Hasil simulasi kondisi termal di lokasi pengukuran

### 3. Langkah-langkah Perhitungan ET

Ada dua metode yang dapat digunakan dalam menghitung nilai temperatur efektif (ET), sebagai berikut:

Metode pertama, masukkan nilai temperatur bola kering (DBT) dan kelembaban relatif (RH) pada diagram *psychrometric* untuk menentukan nilai temperatur bola basah (WBT). Kemudian nilai DBT, WBT dan kecepatan angin dimasukkan ke dalam diagram ET, maka akan didapatkan nilai ET.

Metode kedua, menggunakan kalkulator untuk menggantikan diagram *psychrometric* dalam perhitungan WBT. Penggunaan kalkulator dalam perhitungan WBT bisa lebih cepat dan akurat. Nama kalkulatornya adalah "*the sugar engineering*". Pada kalkulator masukkan nilai DBT dan RH, maka nilai WBT akan diketahui. Kemudian nilai WBT, DBT dan kecepatan angin dimasukkan ke dalam diagram ET, maka akan didapatkan nilai ET.

Untuk lebih jelasnya ikuti contoh perhitungan berikut:

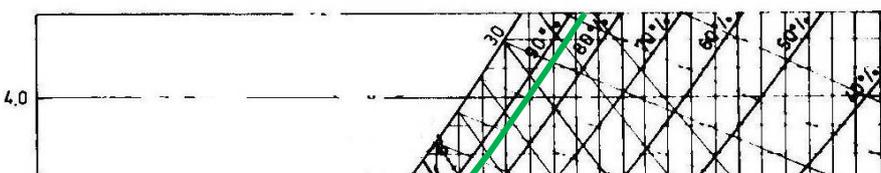
*Berdasarkan pengukuran tanggal 19 September 2021 di rumah pada jam 8 pagi, didapatkan nilai temperatur kering 25,5°C dan kelembaban relatif 87,2%, dengan kecepatan angin 0,102 m/s. Berapakah nilai ET?*

Jawab:

Diketahui, DBT = 25,5°C  
 RH = 87,2%  
 V = 0,102 m/s

Penyelesaian:

Hitung WBT terlebih dahulu dengan memilih salah satu metode di atas.



**Gambar 33.** Langkah-langkah perhitungan WBT dengan diagram *psychrometric*

1. Menggunakan metode pertama

Menghitung nilai temperatur bola basah menggunakan diagram *psychrometric*, dengan memasukkan RH dan DBT ke dalam diagram, langkah kerja dapat dilihat pada Gambar berikut:

2. Menggunakan metode pertama

Menghitung nilai temperatur basah (WBT) menggunakan aplikasi kalkulator, dengan memasukkan RH dan DBT ke dalam menu bar, langkah kerjanya dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:

**The Sugar Engineers**  
 Home | About us | News | Prices | Engineering Guides | Rapid Design | Material Properties | Whats New |  
 Factories | Links | Contact |

**Psychrometric Calculations**  
 The formulations used here to calculate moist air properties are based on perfect gas relations published in 1989 ASHRAE Fundamentals Handbook, which should be accurate. Nevertheless, It is strongly recommend that you to compare the results calculated by this worksheet with a psychrometric chart. There is **no error checking** so you should use reasonable input values.

Inputs			Outputs	
<b>Unit Chosen:</b>	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP	<b>Atmospheric Press</b>	1.013238759; bar
<b>Parameter Name</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Sat. Vapor Press.</b>	32.64910833; mbar
Dry Bulb Temp.:	25.5	C	<b>Partial Vapor Press.</b>	28.47002247; mbar
Wet Bulb Temp.:	23.81725629	C	<b>Humidity Ratio</b>	0.017982246; kg/kg
Relat. Humidity:	87.2	%	<b>Enthalpy</b>	71.43777981; kJ/kg
Dew Point Temp.	23.22181106	C	<b>Specific Volume</b>	0.869597344; m3/kg
Altitude	0.0	m		

Calculate

**Expert Engineering Advice**  
 You may want some expert engineering advice on [Spray Ponds](#) or on [Cooling Towers](#), if so please feel free to contact us.

**LANGKAH 1:** Masukkan nilai temperatur kering 25,5

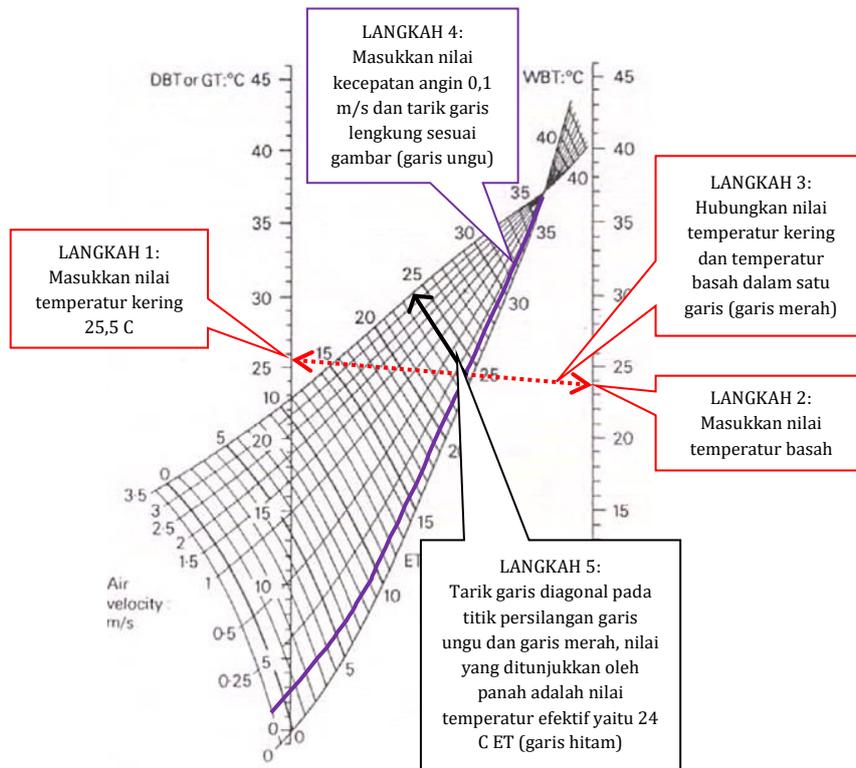
Hasil ET

**LANGKAH 2:** Masukkan nilai kelembaban relatif 87,2%

**Gambar 34.** Langkah-langkah perhitungan WBT dengan aplikasi *sugar Engineers*

Setelah nilai WBT diketahui, langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai DBT, WBT dan kecepatan angin pada diagram ET untuk mendapatkan nilai ET. Langkah-langkah kerjanya dapat dilihat pada Gambar 32.

Hasil dan Kesimpulan: pada saat temperatur kering 25,5°C, kelembaban relatif 87,2% dengan pergerakan angin 0,102 m/s, menghasilkan kondisi temperatur udara basah 23,8°C dengan temperatur efektif 24°C.

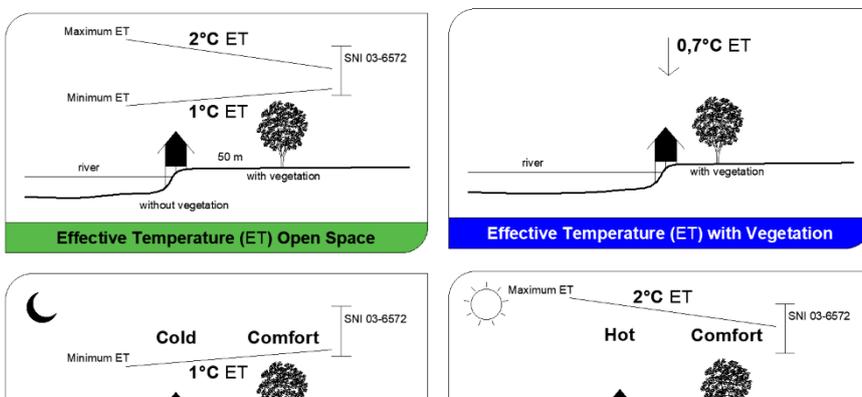


Gambar 35. Langkah-langkah perhitungan ET dengan diagram ET 0.5 clo

#### 4. Studi Kasus Hasil Pengukuran dan Perhitungan ET

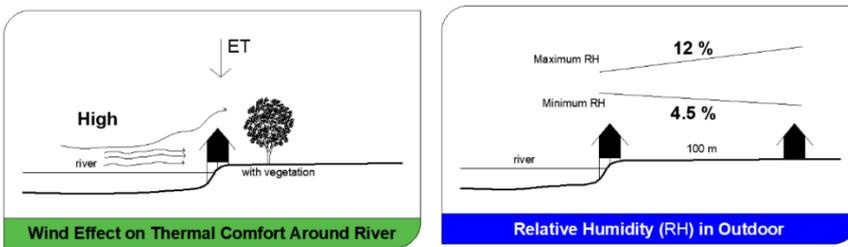
Berikut ini akan dijelaskan temuan hasil pengukuran dan perhitungan ET terkait kondisi lingkungan.

Kenyamanan termal SNI 03-6572 pada ruang terbuka antara ruang terbuka tanpa vegetasi dan vegetasi memiliki perbedaan ET. Vegetasi yang ditanam di sekitar bangunan berpengaruh terhadap termal di dalam ruangan. Vegetasi di sekitar sungai dan bangunan dapat menurunkan ET sebesar 0,7°C ET. Selisih ET antara ruang terbuka hijau dan ruang terbuka tanpa vegetasi adalah 1°C ET. Ruang terbuka tanpa vegetasi lebih rendah 1°C ET daripada bervegetasi. Ruang terbuka tanpa vegetasi dalam kondisi tidak nyaman sedangkan bervegetasi masih dalam zona nyaman SNI 03-6572. ET ruang terbuka hijau selalu berada pada zona nyaman SNI 03-6572 pada malam hari. Sedangkan ruang terbuka tanpa vegetasi di sekitar sungai sangat dingin (tidak nyaman). ET ruang terbuka hijau selalu berada di zona nyaman pada siang hari. Sedangkan ruang terbuka tanpa vegetasi di sekitar sungai panas (tidak nyaman), perhatikan gambar berikut.

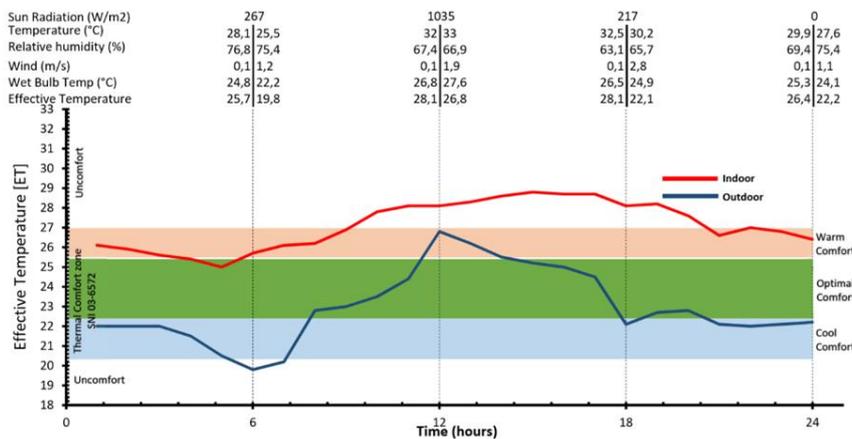


**Gambar 36.** Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 1 (sumber: penulis)

Nilai ET lebih rendah jika kecepatan angin lebih tinggi. Kenyamanan termal di sekitar sungai dipengaruhi oleh pergerakan angin. Kelembaban relatif luar ruangan minimum dan maksimum antara bangunan tepi sungai dan pemukiman memiliki perbedaan. Kelembaban relatif minimum di tepi sungai 4,5% lebih tinggi dari pemukiman di luar ruangan. Kelembaban relatif di tepi sungai lebih tinggi di pagi hari. Kelembaban relatif luar ruangan maksimum di tepi sungai adalah 12% lebih rendah dari pemukiman luar ruangan. Kelembaban relatif di pemukiman lebih tinggi pada siang hari.



**Gambar 37.** Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 2 (sumber: penulis)



**Gambar 38.** Contoh hasil pengukuran sebelum dikonversi ke nilai SET (sumber: penulis)

Kenyamanan termal di sekitar sungai pada malam hari sampai pagi hari sangat dingin (*uncomfort*) dan pada siang hari kenyamanan hangat. Kenyamanan termal luar ruangan di sekitar bangunan pada siang hari adalah hangat. Dan malam sampai pagi sangat dingin (*uncomfort*). Kondisi kenyamanan termal luar ruangan antara bangunan tepi sungai dan pemukiman memiliki perbedaan. ET di luar ruangan di tepi sungai selalu lebih rendah daripada di permukiman. selisih ET luar ruangan antara bangunan tepi sungai dan permukiman adalah 0,9°C ET.



**Gambar 39.** Contoh nilai hasil pengukuran lapangan 3  
(sumber: penulis)

*Bilah 7*

**PENUTUP:  
KOREKSI KENYAMANAN  
LINGKUNGAN DAN BANGUNAN**

## **1. Kesimpulan**

Pemanasan global telah meningkatkan temperatur permukaan bumi 0.6-0.9°C dalam jangka waktu 100 tahun ini. Kenaikan ini semakin cepat seiring meningkatnya degradasi lingkungan akibat eksplorasi alam untuk sumber energi. Upaya untuk menghentikan laju temperatur permukaan bumi telah dilakukan sejak 50 tahun yang lalu. Ini diperlukan untuk Kembali menjaga keseimbangan lingkungan dan menekan frekuensi bencana alam akibat cuaca ekstrim. Mayoritas negara-negara di dunia telah sepakat dan komitmen terhadap pelaksanaan SDGs-17

hasil konfrensi dunia di Paris Perancis pada tahun 2015. Indonesia juga menanda tangani kesepakatan ini. Geografis Indonesia yang diapit 2 benua dan 2 samudera, seperti seorang anak yang berada di tengah-tengah raksasa. Anomali yang terjadi di sekitar wilayah Indonesia menyebabkan dampak buruk terhadap Indonesia akibat cuaca ekstrim.

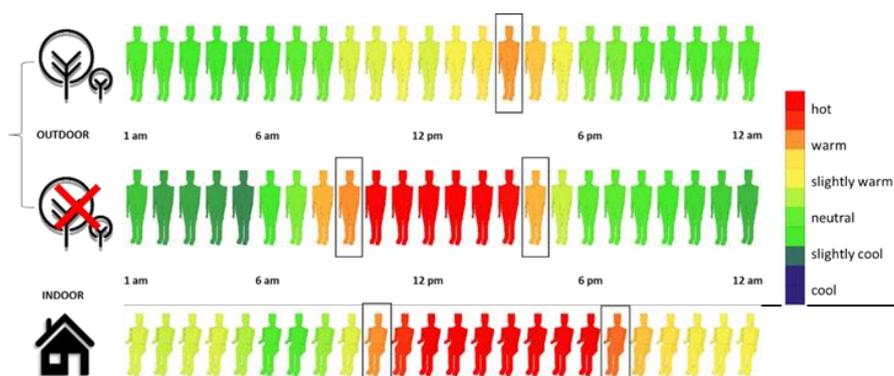
Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki hutan hujan tropis sangat diperlukan dunia sebagai penyangga karbon dan paru-paru dunia. Kerusakan lingkungan alam di Indonesia akan berkontribusi langsung terhadap peningkatan temperatur permukaan bumi, bukti nyata pemanasan global. Wilayah Indonesia cukup luas menyebabkan kaya akan keanekaragaman alami, dan kondisi iklim Kawasan juga bervariasi. Sedikitnya ada 3 iklim yang secara spesifik dipengaruhi oleh kondisi tofografi dan geografi Kawasan yaitu: iklim monsoon, iklim panas dan iklim laut. Kondisi iklim demikian menyebabkan adaptasi penduduk terhadap kondisi lingkungan juga berbeda-beda. Karakter demikian dapat menyebabkan tingkat kenyamanan penduduk Indonesia berbeda-beda tergantung adaptasi tempat tinggal. Faktor kenyamanan sangat tergantung kondisi iklim dan anomali cuaca. Efek pemanasan global juga berkontribusi terhadap perubahan termal lingkungan yang dapat berdampak bergesernya nilai kenyamanan masing-masing individu.

## 2. Saran

Berbagai penelitian terkait kenyamanan telah dilakukan. Kenyamanan dalam bidang arsitektur ada 3 unsur utama, yaitu: kenyamanan visual, kenyamanan termal dan kenyamanan akustik. Kenyamanan termal sangat tergantung kondisi iklim makro dan iklim mikro. Terjadinya pemanasan global menyebabkan faktor kenyamanan termal terkoreksi akibat adaptasi kondisi termal pada temperatur yang meningkat. Indeks kenyamanan termal di Indonesia dapat dievaluasi berdasarkan kondisi ini. Indonesia telah memiliki indeks kenyamanan termal dengan skala temperatur efektif sejak tahun 2001 pada SNI 03-6572. Standar ini sudah berumur 20 tahun, dan perlu ada peninjauan ulang terkait indeks kenyamanannya.

Indeks kenyamanan temperatur efektif (ET) pada perkembangannya telah dilakukan berbagai penyesuaian-penyesuaian dan penambahan variabel pengamatan yang lebih kompleks. Langkah ini merupakan evaluasi dari indeks kenyamanan yang sudah ada. Temperatur efektif standar (SET) dan ET\* merupakan bagian pengembangan indeks kenyamanan ET. Tambahan variabel dalam pengukuran kenyamanan termal akan lebih meningkatkan keakuratan pengukuran termal. Untuk menghasilkan data pengukuran akurat juga didukung oleh sumberdaya dan alat pengukuran yang baik. Semakin tinggi nilai validasi pengukuran maka semakin bagus hasil pengukuran. Simulasi juga dapat digunakan sebagai variabel kontrol pengukuran untuk menjaga tingkat akurasi dan validasi nilai.

Koreksi kenyamanan termal perlu dilakukan untuk menjaga nilai prediksi kenyamanan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Evaluasi terhadap nilai kenyamanan termal lingkungan dan bangunan akan lebih maksimal dengan dukungan peneliti dan banyaknya responden dalam pengukuran. Semakin tinggi vote responden akan membuat akurasi kenyamanan termal semakin bagus.



**Gambar 40.** Contoh hasil simulasi MRT untuk mencocokkan nilai kenyamanan termal pengukuran (sumber: penulis)

## Daftar Pustaka

- Al-Bishawi, M., Ghadban, S., (2011). A Methodological Approach for Reading Urban Open Space. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 5 (1). 73-85.
- ASHRAE Standard 55 P: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2003.
- ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2010.
- ASHRAE Handbook: Fundamentals*. 2017.
- Arens, E., Hoyt, T., Zhou, Huang, Zhang, Schiavon. (2015). Modeling The Comfort Effects of Short-Wave Solar Radiation Indoors, *Building and Environment* (88). 3-9.
- Agboola O., Rasidi M., Said I. (2017). The Influence of Open Space Utilization on Residents Attachment with Community: A Case Study of Rural Market Square in Southwest Nigeria. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 11 (1). 44-66.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). *Standar Nasional Indonesia (Indonesian National Standardization)-SNI 6390:2011 Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*, BSN, Jakarta, Indonesia. 2011.
- Bondan, Amir Hasan. 1953. *Suluh Sedjarah Kalimantan*. Banjarmasin: Penerbit Padjar.
- Bahrainy, H, Bakhtiar, A, 2016, *Urban Design Definition, Knowledge Base and Principles*, Springer International Publishing Switzerland, *Toward an Integrative Theory of Urban Design*, University of Tehran Science and Humanities Series,
- Bromberek Z. (2007). An Argument Against Air Conditioning Use in Tropical Resorts. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 1 (3). 115-126.
- Ballantyne, E.R., Earned, J.R., Spencer, J.W., 1967, *Environment assessment of acclimatized caucasian subjects at Port Moresby, Papua New Guinea*, In *Proceedings of the 3rd Australian Building Research Congress*, Melbourne, Australia.

- Ballantyne, E.R., 1979, *A Survey of Thermal Sensation in Port Moresby, Papua New Guinea*; Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australia.
- Conway, H, Roenish, R, 1994. *Understanding Architecture*, London, Routledge.
- Carnemolla P., Bridge C. (2016). Accessible Housing and Health-Related Quality of Life: Measurements of Wellbeing Outcomes Following Home Modifications. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 10 (2). 38-51.
- De Dear, R.J., K.G. Leow, S.C. Foo., 1991, *Thermal comfort in the humid tropics: field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore*. *Int. J. Biometeorol.*, pp. 259–265.
- De Dear, R.J., Leow, K.G., Ameen. 1991. *A Thermal comfort in the humid tropics—Part 1: Climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore*. *ASHRAE Trans.*, 874–879.
- De Dear, R.J., Leow, K.G., Ameen, 1991, *A Thermal comfort in the humid tropics—Part 2: Climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore*. *ASHRAE Trans.*, 880–886.
- Damiati S,A, Zaki, Rijal, Wonorahardjo (2016). *Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season*, *Building and Environment*, Volume 109, 15 November, Pages 208–223.
- De Waal, H.B, 1993, 'New Recommendations for Building in Tropical Climates', *Building and Environment*. Vol.28, 271-285.
- Dugan, P.J. 1990. *Wetland conservation*. The Words Conservation Union. Gland, Switzerland.
- Ellis, F.P., 1952, *Thermal comfort in warm humid atmosphere observations in a warship in the tropics*, *Journal of Hygiene*, Cambridge, 50 pp. 415–432
- Ellis, E.P. (2015) *Thermal comfort in warm and humid atmosphere*, *J. Hygiene*. 1953, 51, 386–404. *Buildings*, 5.
- Fanger, P, O, 1970, 'Analysis and applications in environmental engineering', *Thermal comfort*. Danish Technical Press, Pp. 244.
- F. Azizpour, S. Moghimi, E. Salleh, S. Mat, C.H. Lim, K. Sopian, 2013, *Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: a case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC)*. *Energy Build.*, 64, pp. 317–322.
- 'Global Warming', *Nasa*, accessed on Juni 5th, 2020, <<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming>>.
- Houghton, FC, Yaglou, CP, 1923, *Determining equal comfort lines*, *J Am Soc Heat Vent Eng*.
- Karyono, T.H. Heryanto, S, Faridah, I., 2013, *Air conditioning and the neutral temperature of the Indonesian university students*. *Archit. Sci. Rev.* 58, 174–183.
- Karyono, T.H, S. Wonohardjo, F.N. Soelami, W. Hendradjit, 2005, *Report on Thermal Comfort Study in Bandung*, Indonesia Jakarta.

- Karyono, T.H, 2001, 'Wujud Kota Tropis di Indonesia: suatu pendekatan iklim, lingkungan dan energi', *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 29, No. 2, Desember 2001: 141 - 146
- Karyono, T.H, 2015, *Predicting Comfort Temperature in Indonesia an Initial Step to Reduce Cooling Energy Consumption*. Buildings (5), 802-813.
- Koeningsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay. 1973. *Manual of Tropical Housing and Building*, Longman Group Limited. London.
- Lainez, J, 2012, *Solar Radiation in Buildings, Transfer and Simulation Procedures*, accessed on Juni 22th, 2020, <<https://www.intechopen.com/books/solar-radiation/solar-radiation-in-buildings-transfer-and-simulation-procedures>>.
- Lechner, N, 2000, *Heating. Cooling, Lighting (Metode Desain Arsitektur)*, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Lippsmeier, G, 1997, *Bangunan Tropis*, Erlangga, Jakarta.
- Mom, C.P.P., Wiesebron J.A., Courtice, R., Kip, C.J., 1947, *The application of the effective temperature scheme to the comfort zone in the Netherlands Indies (Indonesia)*, Chron. Nat., 103, 19-31.
- Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002, 'Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings', *Energy and Buildings*, Vol. 34, Pp. 563-572.
- Rahman, A, Tharziansyah, Rizky, Vita, 2021, 'Problems and Urban Sustainable Development in Wetlands based on The Thermal Conditions, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Rahman, A, Tharziansyah, Nurfansyah, Agusniansyah, 2021, 'Simulation and Analysis of Thermal Environment and Building Comparing Wetland Conditions in Banjarmasin-Indonesia and Saga-Japan, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Rahman, A, Tharziansyah, Rizky, Vita, 2021, 'Efek Termal Permukaan Tanah Rawa terhadap Kebakaran Hutan di Lingkungan Lahan Basah', Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah.
- Rahman, A, Kojima, S, 2017, 'Analysis of thermal comfort SNI-6390 in the Lanting (floating house)'. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, Vol. 100.
- Rahman, A, 2010, 'The Different Air Temperature in The Shadowed and Unshadowed Condition, *International Conference on Sustainable Environmental Architecture (SENVAR)*, ITS, Surabaya.
- Rahman, Akbar, 2008, 'Pengaruh pola pembayangan terhadap kenyamanan jalur pedestrian', *Peran Arsitektur Perkotaan dalam Mewujudkan Kota Tropis*, UNDIP. Semarang.
- Rahman, M, A, U. 2014. 'Pelestarian Rumah Lanting Berlandaskan Budaya Sungai Masyarakat Kota Banjarmasin', *E-Journal Graduate Unpar*, Vol. 1, No. 2, pp. 221-231.
- Rapoport, A, 1969, *House Form and Culture*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 'Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future', *Strategic Imperatives*, accessed on Juni 6th, 2017, <<http://www.ask-force.org/web/Sustainability/Brundtland-Our-Common-Future-1987-2008.pdf>>.

- Rhinoceros and Grasshopper Software (Free version) for 120 days [accessed on June 12th, 2021]
- Roth, M, 2013, *Handbook of Environmental Fluid Dynamics: Urban Heat Islands*. CRS Press/Taylor and Francis Group. Vol. 2: 143-160
- Santamouris, M, 2014, 'On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings', *Energy and Buildings*, Vol.34, Pp. 100-113.
- Sari, R, Suzana, 2006, *Arsitektur Tropis Bangunan Tradisional Indonesia*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, pp. 1-91.
- Shirvani, H, 1985, *Design Process*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Speiregen, Pl, D, 1965, *Urban Design: The Architecture of Town and Cities*, New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Szokolay, S.V., 2007, *Thermal Comfort*. PLEA with Department of Architecture, The University of Queensland Brisbane.
- Sucher, D, 1995, *City Comforts*. Press, Seattle.
- Sahabuddin M., and Gonzalez-Longo C. (2015). Traditional Values and Their Adaptation in Social Housing Design: Towards a New Typology and Establishment of 'Air House' Standard in Malaysia. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 9 (2). 31-44.
- SNI 03-2396-2001: Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung
- Thermal comfort tool: <https://www.ashrae.org> [accessed on July 7th, 2017]
- Toudert, A, and Mayer, H, 2007, *Effects of Asymmetry, Galleries, Overhanging Façade and Vegetation on Thermal Comfort in Urban Street Canyons*, Solar Energy, Tampa.
- 'Thermal Data of 6 Cities in Indonesia', accessed on Juni 7th, 2017, <<https://www.bmkg.go.id/>>.
- Tibbalds, 1993. *London's urban environmental quality*. London Planning Advisory Committee.
- 'Undang-undang tentang Penataan Ruang', *BNPB*, accessed on Juni 7th, 2017, <<https://www.bnpb.go.id/uploads/migration/pubs/2.pdf>>.
- Pujirahayu, Yuni, 2010, *Identifikasi Karakteristik Ruang Terbuka Hijau pada Kota Dataran Rendah di Indonesia*. Departemen Arsitektur Lanskap-IPB, Bogor.
- Webb, C.G., 1959, *An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate*, *British Journal of Industrial Medicine*, 16, pp. 297-310
- Widiyantoro, H., Muladi E., Vidiyanti, C. 2017. 'Analisis Pencahayaan terhadap Kenyamanan Visual pada Pengguna Kantor'. ISSN: 2088-8201
- Wilson, Phil, 2016, 'Climate Control'

Zakariya K., Kamarudin Z., and Harun Z. N. (2016). Sustaining the Cultural Vitality of Urban Public Market: A case study of Pasar Payang, Malaysia. *International Journal of Architectural Research: ArchnetIJAR*. 10 (1). 228-239.