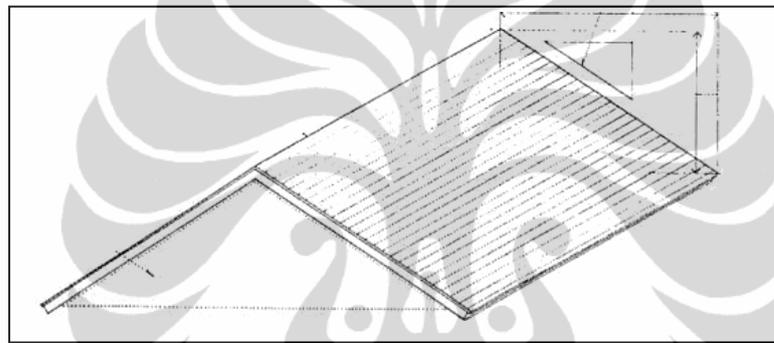


BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Atap

Atap adalah penutup bagian atas dari bangunan, termasuk rangka yang mendukungnya¹⁰. Atap pelana (*gable roof*) adalah atap dengan kemiringan ke arah bawah dari bubungan tengah, sehingga membentuk segitiga pada kedua ujungnya. (Lihat gambar 2.1 di bawah ini)



Gambar 2.1 Bentuk konstruksi atap pelana.

(Sumber : *A Visual Dictionary of Architecture*, Francis D.K.Ching, 1995)

2.2 Iklim¹¹

2.2.1 Iklim dan iklim tropis

Berasal dari bahasa Yunani yaitu *klima* yang menurut kamus oxford artinya kawasan dengan kondisi tertentu yang meliputi temperature, kelembaban, angin, cahaya, dsb. Definisi secara ilmiah dapat dikatakan sebagai integrasi terhadap waktu dari kondisi atmosfer lingkungan dan karakteristik lokasi geografi tertentu. Seperti cuaca yang berarti kondisi sementara dari atmosfer lingkungan pada lokasi tertentu, iklim juga dapat diartikan sebagai integrasi terhadap waktu dari kondisi cuaca.

¹⁰ D.K Ching, Francis. *A Visual Dictionary of Architecture*, Van Nostrand Reinhold, USA: 1995, p.208

¹¹ O.H. Koenigsberger, T. G. Ingersoll, Alan Mayhew and S. V. Szokolay, *Manual of Tropical Housing and Building*, London: Longman Group Limited, 1974

2.2.2 Kualitas Radiasi sinar matahari

Bumi kita menerima energi hampir secara keseluruhan berasal dari matahari melalui radasi, oleh sebab itu matahari berpengaruh dominan terhadap iklim.

Spektrum radiasi sinar matahari berada dalam rentang antara 290 hingga 2300 nm(nanometer= 10^{-9} m). Berdasarkan persepsi rata-rata manusia, radiasi dapat kita kategorikan ke dalam:

- a. Radiasi Ultra-violet, 290 hingga 380 nm, menghasilkan efek fotokimia, *bleaching, sunburn*, dsb.
- b. Cahaya yang terlihat, 380 (violet) hingga 700 nm (merah).
- c. Radiasi infra merah pendek, 700 hingga 2300 nm, radiasi panas dengan beberapa efek fotokimia.

Distribusi energi dari radiasi bervariasi menurut altitude, sebab dalam hal ini terdapat efek penyaringan dari atmosfer. Beberapa gelombang pendek diserap oleh atmosfer dan di-radiasi-kan kembali dalam bentuk gelombang yang lebih panjang, sebagai contoh infra merah panjang memiliki panjang di atas 10 000 nm.

Karena Efisiensi penyinaran dari radiasi energi tergantung pada komposisi spektral, tidak ada kaitan yang tetap antara intensitas radiasi dan efeknya terhadap pencahayaan. Akan tetapi, sebagai pedoman umum, nilai dari 100 lumen/watt dapat digunakan untuk radiasi matahari. Hal ini berarti illuminasi yang diberikan adalah 100 lux untuk setiap intensitas W/m^2 atau 100.000 lux per kW/m^2 .

2.2.3 Kuantitas radiasi sinar matahari

Intensitas dari radiasi mencapai permukaan atau dari atmosfer diambil sebagai *solar constant* : $1395 W/m^2$, tetapi sebenarnya terdapat perbedaan sekitar 2% dikarenakan variasi output dari matahari itu sendiri, dan terdapat perbedaan sekitar 3-5% akibat dari perubahan jarak matahari dan bumi.

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam lintasan orbit yang agak elips. Satu kali revolusi bumi terhadap matahari memerlukan waktu sekitar 365 hari, 5 jam, 48 menit dan 46 detik. Orbit ini dihasilkan dari adanya gaya tarik gravitasi dari matahari dan gaya sentrifugal akibat momen inersia bumi. Jarak terdekat lintasan bumi terhadap matahari adalah 147 juta km, dan terjauh 152 juta km.

Bumi berotasi pada sumbunya sendiri, tiap rotasinya membutuhkan waktu 24 jam. Sumbu rotasi yang menghubungkan kutub utara dan selatan bumi terdapat

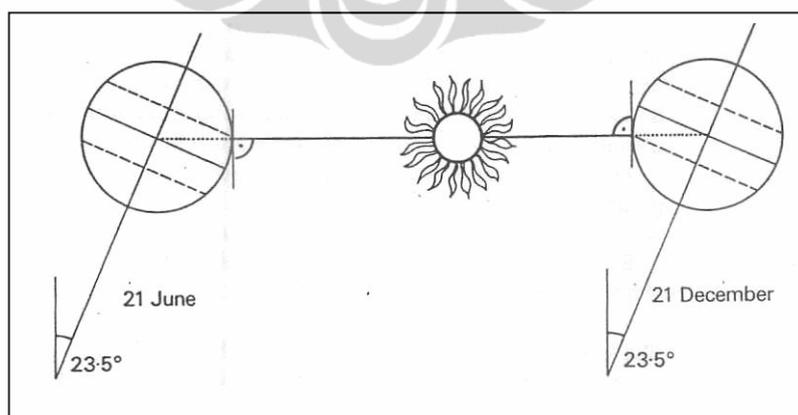
kemiringan $23,5^\circ$ dari sudut normal, atau $66,5^\circ$ dari bidang yang dibentuk garis lintasan orbit eliptikal. Arah dari sumbu ini konstan.

Intensitas maksimum diperoleh dari bidang normal menuju arah dari radiasi, yaitu jika sumbu bumi berada pada posisi tegak lurus dengan bidang orbit. Hal ini selalu terjadi di kawasan equator yaitu pada bidang normal terhadap radiasi. Karena kemiringan posisi sumbu ini, bagaimanapun juga area yang menerima intensitas maksimum bergerak utara dan selatan, antara tropis *Cancer* (latitude $23,5^\circ$ Utara) dan tropis *Capricorn* (latitude $23,5^\circ$ Selatan). Hal inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya perubahan musim.

Pada tanggal 21 Juni, area sekitar latitude $23,5^\circ$ utara berada pada garis normal terhadap sinar matahari. Lintasan matahari terlihat melalui puncak pada latitude ini, dan periode siang hari terpanjang akan dialami. Pada waktu yang sama latitude $23,5^\circ$ Selatan, mengalami siang terpendek dan radiasi minimum.

Pada tanggal 21 Maret dan 23 September area di sepanjang Equator berada pada posisi normal terhadap sinar matahari. Untuk seluruh kawasan di bumi berada pada periode equinox yaitu mengalami waktu siang dan malam hari yang relatif sama panjang.

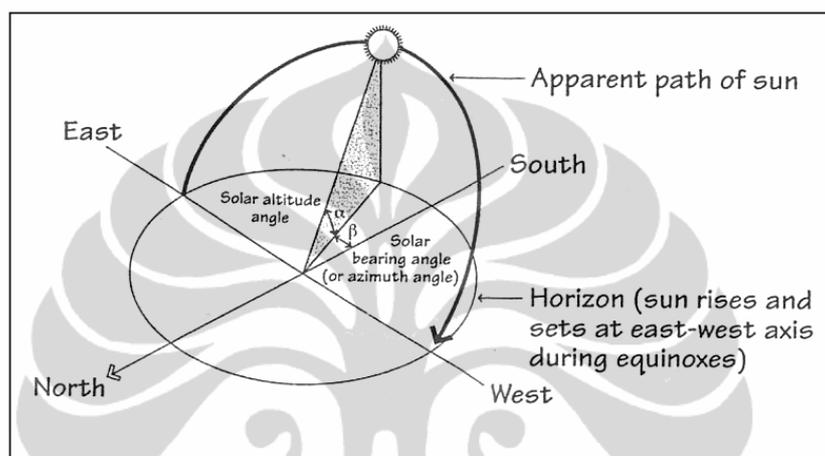
Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan bahwa dengan adanya kemiringan sumbu bumi sebesar $23,5^\circ$ terhadap bidang normal, maka beberapa kawasan di muka bumi mengalami perbedaan musim, dan di kawasan kutub utara terdapat perbedaan yang signifikan terhadap lamanya waktu siang dan malam dalam setahun.



Gambar 2.2 Hubungan posisi antara bumi dan matahari

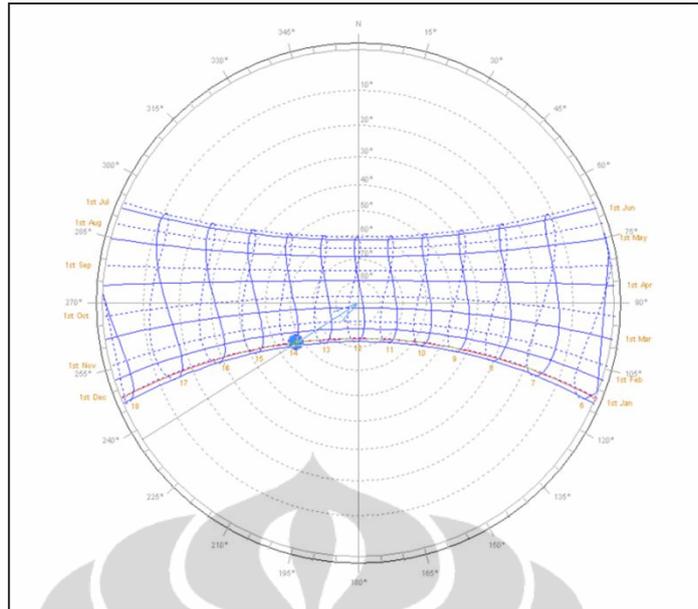
(Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

Gambar 2.3 di bawah ini menunjukkan bahwa tiap posisi matahari pada suatu lintasan memiliki perbedaan sudut terhadap bidang normal permukaan bumi. Tiap kawasan yang berbeda garis lintang, maka posisinya juga akan berbeda. Perbedaan posisi tersebut ditentukan oleh sudut – sudut, yaitu *azimuth* (sudut proyeksi posisi matahari terhadap garis bujur utara-selatan) dan *altitude* (kemiringan posisi matahari terhadap horizon bumi).



Gambar 2.3 Sudut-sudut pada lintasan orbit matahari
(Sumber : *Architectural Lighting*, David Egan, 2002)

Gambar 2.4 di bawah ini menunjukkan diagram lintasan matahari untuk Kota Depok dan sekitarnya. Gambar ini diperoleh dengan menggunakan *Software Ecotect v5.6*, yaitu dengan memasukkan posisi garis lintang Kota Depok $-6,1^{\circ}$ dan garis bujur $106,0^{\circ}$. Diagram lintasan matahari *Stereographic* di atas adalah diagram lintasan dalam setahun. Posisi titik-titik pada lingkaran terluar menunjukkan tanggal, dan garis lengkung yang melintang timur-barat menunjukkan jam.



Gambar 2.4 Diagram lintasan matahari *stereographic* untuk Kota Depok dan sekitarnya
(Sumber : *Ecotect v5.6*)

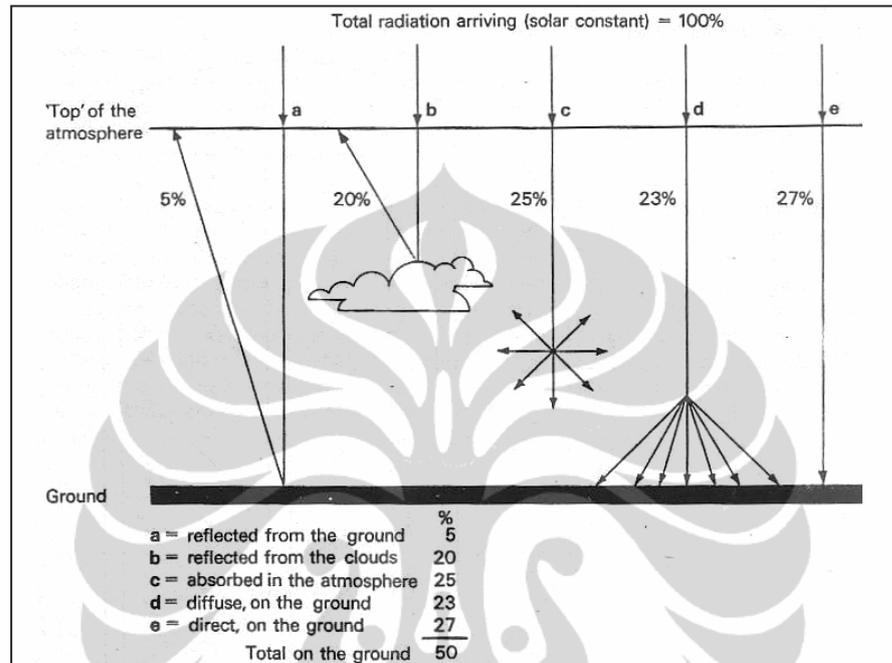
2.2.4 Keseimbangan termal bumi

Total jumlah panas yang diserap oleh bumi tiap tahun keseimbangannya ditentukan oleh panas yang hilang (*heat loss*). Tanpa pendinginan ini keseimbangan termal bumi tidak dapat dijaga, suhu bumi dan atmosfer akan meningkat dan bumi menjadi tidak nyaman. Permukaan bumi melepaskan panas melalui tiga proses:

- Melalui radiasi gelombang panjang untuk mendinginkan area luar, di mana sekitar 84 % dari proses re-radiasi ini diserap oleh atmosfer, dan hanya 16% yang keluar dari atmosfer.
- Melalui evaporasi, di mana permukaan bumi didinginkan, seperti air yang menguap dan bercampur di udara.
- Melalui konveksi, udara dipanaskan melalui kontak dengan suhu permukaan bumi yang hangat, kemudian menjadi lebih ringan dan terangkat ke permukaan atas atmosfer, dimana panas hilang ke udara.

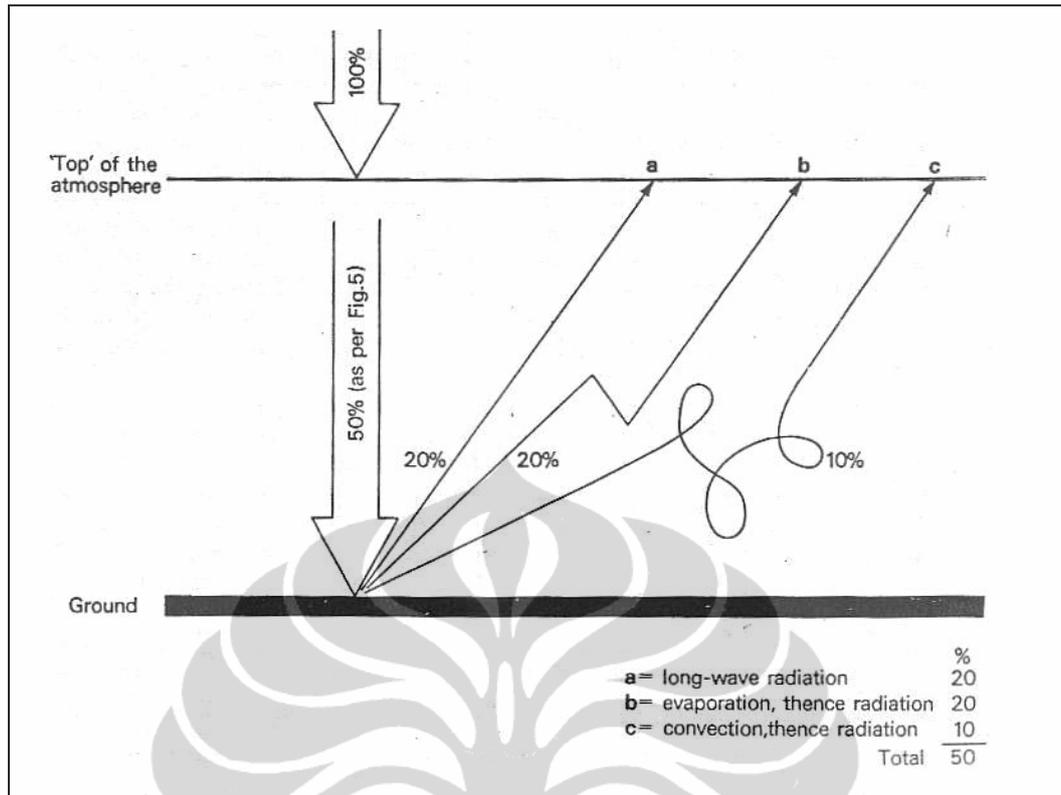
Gambar 2.5 di bawah ini menunjukkan skema lintasan radiasi matahari yang melalui atmosfer bumi. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan lintasan radiasi yang terjadi. Proporsi rata-rata yang terjadi adalah 5% radiasi langsung menuju bumi kemudian dipantulkan kembali menuju atmosfer, 20% dipantulkan oleh awan menuju atmosfer, 25% tersebar kesegala arah, 23% tersebar ke permukaan bumi,

dan 27% terserap oleh permukaan bumi. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa total radiasi sinar matahari yang sampai menuju permukaan bumi adalah sebesar 50%. Artinya radiasi matahari sebagian sampai ke permukaan bumi, dan sebagian lagi dipantulkan menuju atmosfer sebelum sampai ke bumi.



Gambar 2.5 Lintasan yang dilalui oleh radiasi matahari melalui atmosfer bumi
(Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan skema pelepasan panas dari tanah menuju atmosfer bumi. Gambar tersebut menunjukkan bahwa radiasi sinar matahari sebesar 50% dari total yang sampai ke permukaan bumi, akan mengalami pelepasan menuju atmosfer dengan berbagai cara. Di antaranya ialah dengan pemantulan berupa radiasi sinar panjang (sekitar 20%), pemantulan dengan penguapan kemudian radiasi (20%), dan pemantulan dengan konveksi kemudian radiasi (10%).



Gambar 2.6 Pelepasan panas dari tanah menuju atmosfer bumi

(Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

2.3 Elemen iklim

2.3.1 Informasi klimatik

Perancang tertarik secara spesifik terhadap aspek iklim yang mempengaruhi kenyamanan manusia dan penggunaan bangunan. Dalam hal ini termasuk perubahan yang terjadi pada temperatur ekstrim, perbedaan suhu yang terjadi antara siang dan malam hari, kelembaban, kondisi langit, radiasi datang dan terlepas, hujan dan distribusinya, pergerakan udara, serta kondisi khusus seperti hujan yang disertai angin ribut dan guntur, dan angin puting beliung.

Rekaman data iklim yang diperoleh di bandar udara dan stasiun meteorologi tidak menjadi perhatian utama para perancang. Tugas para perancang adalah menganalisa informasi iklim dan menghadirkannya ke dalam bentuk bangunan yang bermanfaat atau mungkin berbahaya bagi penggunaannya di masa mendatang.

2.3.2 Data temperatur

Seluruh hasil pembacaan menghasilkan kumpulan data yang tidak tersusun, maka diperlukan penyederhanaan.

Sebagai gambaran, temperatur rata-rata bulanan dapat diperoleh dalam tiap bulan selama setahun. Suhu rata-rata diambil antara suhu minimum dan maksimum dan kemudian dicari suhu rata-rata dalam 30 hari yang juga relatif sama dalam setiap tahun. Penentuan suhu tertinggi dan terendah diperlukan untuk menetapkan rentang suhu ekstrim bulanan.

2.3.3 *Presipitation*

Presipitation adalah istilah yang digunakan untuk hujan, salju, hujan es (*hail*), embun, dan embun beku. Itu semua adalah bentuk dari deposit air (*precipitated*) dari atmosfer. Ini diukur dengan menggunakan *rain-gauges*, yaitu wadah dengan kalibrasi tertentu, dan ditunjukkan dengan menggunakan satuan milimeter per satuan waktu (mm/bulan, mm/hari).

2.3.4 Kondisi langit

Kondisi langit biasanya digambarkan dalam istilah kehadiran atau absennya awan. Biasanya dua penelitian dibuat per hari, ketika proporsi langit yang ditutupi awan ditunjukkan dalam persentase. Kondisi langit malam hari jarang dihitung. Dalam hal ini yang perlu diperhatikan bagi para perancang adalah mengetahui waktu, hari, dan frekuensi penelitian tentang kondisi langit. Kondisi langit tipikal harian dalam satu bulan memiliki perbedaan signifikan yang tersembunyi, seperti kondisi pada saat pagi hari dan siang hari. Hal ini akan berdampak pada rancangan atap, overhang, dan elemen peneduh.

2.3.5 Pengukuran radasi sinar matahari

Alat rekam sinar matahari sederhana akan mencatat durasi sinar matahari, yang dapat ditunjukkan dalam beberapa jam sehari, seperti mencari rata-rata dalam sebulan. Alat ukur radiasi sinar matahari bervariasi, mulai dari solarimeter, heliometer, actinometer dan pyranometer, digunakan untuk menghitung jumlah radiasi matahari dalam satuan Btu/ft²h, dalam satuan kcal/m²h, atau dalam satuan internasional dalam watt per meter persegi (W/m²). Satuan ini merupakan intensitas instant, seperti pengukuran energi yang datang per meter persegi dari suatu permukaan per detik.

($W/m^2 = J/m^2s$, seperti $W = J/s$). jika dihitung dalam satu hari penuh, maka total yang diterima menggunakan satuan MJ/m^2 (megajoule per meter persegi).

2.3.6 Vegetasi

Gambaran iklim belumlah lengkap tanpa beberapa catatan mengenai karakter dari tanaman yang jumlahnya melimpah. Secara umum fungsinya untuk membentuk iklim lokal dan lingkungan. Tanaman merupakan elemen penting dalam rancangan ruang luar, karena mampu memberikan peneduhan dan mencegah silau.

Bagian survey iklim telah memiliki beberapa catatan mengenai spesies lokal dari tanaman maupun pepohonan, baik dari bentuk maupun warna, yang akan menentukan orientasi dan situasi.

2.4 Iklim perkotaan

Lingkungan buatan manusia dapat menciptakan iklim mikro bagi lingkungan tersebut. Penyimpangan dari iklim mikro yang terjadi tergantung dari perkembangan campur tangan manusia di dalamnya. Seperti intervensi terhadap lingkungan alami pada suatu perkotaan, hal ini dapat dikatakan sebagai iklim perkotaan.

Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya penyimpangan dari iklim perkotaan dari iklim makro suatu kawasan adalah :

- a. Perubahan kualitas permukaan (bangunan dan *pavement*) – meningkatkan penyerapan radiasi matahari, mengurangi evaporasi.
- b. Bangunan – membentuk bayangan dan berperan sebagai pelindung angin, juga sebagai kanal angin yang dapat meningkatkan kecepatannya, juga sebagai penyimpan panas untuk kemudian dilepas pada malam hari.
- c. Rembesan energi – melalui dinding dan ventilasi dari bangunan yang dipanaskan, hasil dari pendinginan tanaman dan alat pendingin ruangan atau AC(yang mengangkut panas dari ruang yang di kontrol menuju udara luar), panas yang dihasilkan dari pembakaran dalam mesin dan peralatan listrik rumah tangga, panas dari industri, khususnya dari pembakaran sampah dan pabrik besar.
- d. Polusi atmosfer – hasil buangan dari *boiler* atau pemanas domestik, cerobong pabrik, *exhaust* dari kendaraan bermotor, uap dan asap, semuanya berperan

dalam mengurangi radiasi langsung sinar matahari, tetapi meningkatkan penyebarannya, dan menyediakan penghalang bagi radiasi yang akan keluar atmosfer.

Suhu udara di perkotaan dapat lebih tinggi 8 °C dari lingkungan sekitar pinggiran kota, bahkan telah tercatat mencapai 11 °C.

Kelembaban relatif berkurang antara 5 hingga 10% karena proses *run-off* dari air hujan yang cepat dari area perkerasan, hal ini juga dipicu oleh kurangnya vegetasi dan meningkatnya suhu.

Kecepatan angin dapat berkurang hampir separuh dari kecepatan angin di lingkungan sekitar kota yang relatif terbuka, tetapi efek corong yang dihasilkan dari jalan yang diapit oleh bangunan dan dinding yang tinggi, dapat membuat kecepatan angin menjadi dua kali lebih besar. Turbulensi dan pergolakan angin yang kuat dapat terjadi pada area sudut yang menghalang dan pada daerah bayang-bayang angin.

2.5 Kuantitas termal

2.5.1 Temperatur

Sebenarnya temperatur atau suhu udara tidak bisa dihitung secara fisik, tetapi lebih dianggap sebagai gejala yang terlihat dari keadaan panas tubuh. Jika energi tersebut sampai ke tubuh, pergerakan molekul di dalam tubuh meningkat dan tubuh menjadi lebih hangat. Jika pergerakan molekulnya menyebar ke tubuh lain atau ke udara bebas, intensitasnya di dalam tubuh menjadi menurun dan tubuh menjadi lebih dingin. Temperatur udara diukur dengan satuan skala *celcius*. Skala ini dibuat berdasarkan interval antara titik beku dan titik didih air pada tekanan atmosfer normal, dengan skala 100 derajat.

2.5.2 Panas

Panas adalah bentuk energi, muncul sebagai pergerakan molekul dalam suatu substansi atau sebagai pancaran dalam panjang radiasi gelombang elektromagnetik tertentu di dalam ruang. Rentang panjang gelombangnya adalah antara (700 hingga 10.000 nm). Dalam satuan umum energi ini diukur dalam satuan *joules* (J)

Kapasitas termal dari tubuh dihasilkan oleh massa dan panas spesifik dari materialnya. Ini diukur berdasarkan jumlah panas yang dibutuhkan yang menyebabkan satuan temperatur tubuh meningkat. Satuan yang digunakan adalah J/derajat C.

Nilai kalori untuk mengukur jumlah panas yang terlepas dalam suatu massa dan bahan bakar atau makanan untuk proses pembakaran menggunakan satuan J/kg. Nilai kalori per volume diukur dalam satuan J/m^3 .

2.5.3 Aliran panas

Energi panas cenderung terdistribusi bila medannya telah tersebar merata. Kecenderungannya yaitu mengalir dari zona temperatur yang tinggi menuju temperatur yang lebih rendah. Proses ini melibatkan salah satu atau semua proses dari konveksi, konduksi, dan radiasi.

Aliran panas ditentukan oleh adanya perbedaan pada temperatur udara. Semakin besar perbedaannya, maka semakin besar tingkat aliran panasnya.

2.5.4 Jumlah panas yang mengalir

Jika total aliran panas dapat diketahui melalui pengukuran, misalnya total kehilangan panas pada bangunan, panas dari boiler, radiasi yang menerobos jendela, atau panas yang dipindahkan oleh tanaman, maka satuan pengukuran tersebut ialah W atau kW.

Jumlah panas yang mengalir melalui suatu permukaan akan sulit ditentukan secara spesifik jika area yang dilalui oleh panas tersebut tidak diketahui luasannya. Oleh sebab itu satuan jumlah aliran panas ini dinamakan densitas atau intensitas, dan satuan yang digunakan adalah Watt per satuan luas (W/m^2).

2.5.5 Konveksi

Pada proses konveksi, panas dihantarkan melalui media yang bergerak, biasanya berupa cairan atau gas. Pergerakan ini mungkin timbul dengan sendirinya, seperti adanya perbedaan suhu dan tekanan udara. Konveksi dapat terjadi secara alami maupun buatan (konveksi paksa).

Tingkat perpindahan panas dalam proses konveksi tergantung tiga faktor, yaitu:

1. Perbedaan temperatur (perbedaan suhu medium pada titik yang lebih hangat dan dingin)
2. Tingkat perpindahan dari medium pembawa dalam satuan kg/s atau m^3/s

3. Panas spesifik dari medium pembawa dalam satuan J/kg deg C atau J/m³ degC

2.6 RTTV

RTTV (*Roof Thermal Transmittance Value*) merupakan salah satu isi dari kebijakan teknis konservasi energi yang mengacu pada badan standardisasi nasional, yaitu SNI T-14-1993-03. Tujuannya ialah untuk mengetahui jumlah perpindahan panas yang terjadi di atap. Nilai yang diizinkan ialah tidak melebihi 45 W/m². Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{RTTV} = \{ (A_r)(U_r)(\Delta T_{\text{eq}}) + (A_s)(U_s)(\Delta T) + (A_s)(\text{SC})(\text{SF}) \} / (A_r + A_s) \text{ W/m}^2 \quad (2.1)$$

Jika atap terdiri atas banyak bidang, misalnya dengan sudut yang berbeda-beda, maka RTTV_{rata-rata} dicari dengan menjumlahkan seluruh RTTV masing-masing bagian atap dibagi jumlah luas bagian atap tersebut.

Keterangan:

RTTV = harga perpindahan termal menyeluruh atap, W/m²

A_r = luas atap yang tak tembus cahaya, m²

U_r = transmitan atap yang tak tembus cahaya, W/mdeg C.

ΔT_{eq} = beda suhu ekuivalen, degC (atau K.)

A_s = luas lubang cahaya atap, m²

U_s = transmitan lubang atap, W/mdegC.

ΔT = beda suhu antara kondisi perencanaan luar dan dalam, 5 degC

SC = koefisien peneduh (*shading Coefficient*) lubang cahaya atap

SF = Faktor radiasi matahari (*Solar Factor*), W/m²

Tabel 2.1 Tabel beda suhu Ekuivalen untuk atap (ΔT_{eq})

Konstruksi Atap	Berat/satuan luas (kg/m ²)	ΔT _{eq} (K)
Ringan	<50	24
Sedang	50 – 230	20
Berat	>230	16

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1993)

Tabel 2.2 Tabel Faktor Radiasi Matahari (Solar Factor, SF, W/m²) Untuk Jakarta

Orientasi	Utara	Timur laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat laut	Barat
SF	130	113	112	97	97	176	243	211

Rata-rata untuk seluruh orientasi dinding SF = 147 W/m², sedangkan untuk atap SF = 316 W/m²

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1993)

2.7 Perhitungan jumlah radiasi matahari¹²

Radiasi sinar matahari biasanya dihitung dari besarnya fluks energi yang dinamakan *irradiance* (G) dan dinyatakan dalam satuan W/m². Jika jumlah radiasi diukur per satuan luas, maka besarnya energi ini dinamakan *irradiation* (D). Jika besarnya fluks dari 1 W diukur dalam 1 jam, maka besarnya energi adalah 1 Wh = 3600 J (Joule). Jika iradians rata-rata (G) dalam satu jam adalah 1 W/m², maka besarnya *irradiasi* (D) selama 1 jam adalah 1 Wh/m² = 3600 J/m².

Kedua pengukuran di atas selalu melibatkan perhitungan pada bidang horizontal, dan selalu terdiri dari dua komponen, radiasi sinar secara langsung dan radiasi difus. Mula-mula radiasi menuju permukaan horizontal secara langsung, kemudian bidang akan menyebarkan radiasi melalui refleksi menuju atmosfer bumi. Permukaan selain bidang horizontal juga akan menerima radiasi dari pantulan permukaan tanah. Radiasi selalu diukur pada bidang normal, yaitu tegak lurus terhadap sinar datang radiasi. Besarnya radiasi matahari juga dapat diukur pada berbagai bidang yang memiliki kemiringan, yaitu jika bidang tersebut diketahui besar sudut kemiringannya dan orientasinya.

Istilah subskrip yang digunakan dalam perhitungan iradians (G) dan irradiasi (D) adalah:

Subskrip pertama:

h – pada bidang horizontal

¹² SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980, p.324

n – tegak lurus terhadap bidang normal

p – pada bidang yang ditentukan

v – pada bidang vertikal (orientasi ditentukan)

tanpa subskrip pertama artinya terhadap suatu bidang

Subskrip kedua :

b – sinar (langsung)

d – disebar (diffuse)

r – dipantulkan (reflected)

tanpa subskrip kedua artinya nilai total

Data pengukuran radiasi lokal yang sesungguhnya diperlukan untuk mengetahui besarnya radiasi matahari secara spesifik akibat pengaruh kondisi langit. Pengukuran yang dapat digeneralisasi ialah hanya untuk mengetahui nilai radiasi pada saat kondisi langit cerah, yaitu pada saat perolehan panas maksimal. Hal ini dapat diketahui apabila posisi altitude matahari diketahui.

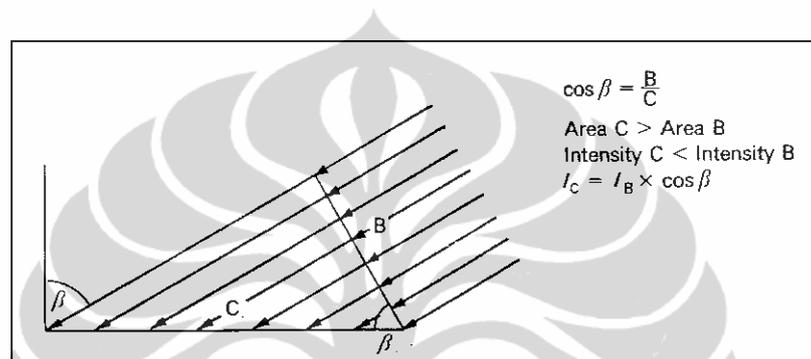
Tabel 2.3 Nilai iradians matahari terhadap altitude di bawah kondisi langit cerah dalam W/m^2

γ (altitude)	G_{nb}	G_{hb}	G_{hd}
10°	389	67	43
20°	620	212	62
30°	741	370	75
40°	814	523	84
50°	861	660	92
60°	893	773	100
70°	912	857	107
80°	922	908	113
90°	930	930	114

(Sumber : Szokolay, 1980)

2.8 Jumlah radiasi pada bidang yang memiliki kemiringan¹³

Nilai iradians pada bidang yang memiliki kemiringan dapat dihitung jika komponen sinar dan penyebarannya pada bidang horizontal diketahui, atau radiasi pada bidang normal dan penyebarannya pada bidang horizontal telah ditentukan. Jumlah radiasi dapat dihitung dengan hukum kosinus (*cosine law*) sesuai dengan besarnya sudut sinar datang. Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan bahwa semakin tegak lurus sudut datang radiasi terhadap bidang yang terkspos, maka intensitas radiasinya akan semakin besar.

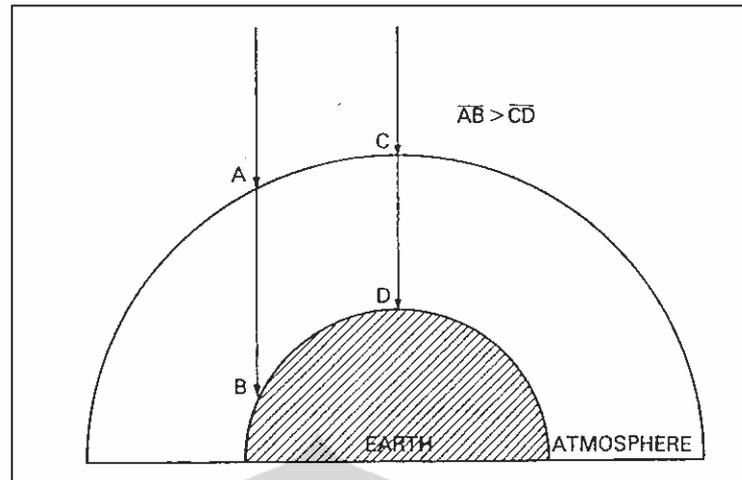


Gambar 2.7 Hukum kosinus sudut datang radiasi sinar matahari

(Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

Gambar 2.8 di bawah ini menunjukkan adanya perbedaan jarak tempuh radiasi matahari pada lintang yang berbeda. Dari gambar terlihat bahwa garis tempuh radiasi CD lebih pendek dari AB, selain itu posisi jatuhnya radiasi pada garis tempuh AB semakin jauh dari bidang normal, sehingga intensitasnya juga akan jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan radiasi pada garis tempuh CD.

¹³ Ibid.



Gambar 2.8 Perbedaan panjang lintasan yang ditempuh radiasi matahari melalui atmosfer bumi
(Sumber : *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

Untuk mencari jumlah radiasi pada bidang yang memiliki kemiringan, nilai yang dicari ialah iradians-nya. Rumus untuk mencari nilai ini menggunakan **rumus iradians versi Szokolay**.

Rumus ini memiliki beberapa tahap, yaitu:

Iradians pada bidang tertentu dapat dicari, jika iradians terhadap bidang normal diketahui (G_{nb}):

$$G_{pb} = G_{nb} \times \cos \beta \quad (2.2)$$

Jika iradians pada bidang horizontal (G_{hb}) diketahui:

$$G_{nb} = G_{hb} / \cos (90 - \gamma) = G_{hb} / \sin \gamma \quad (2.3)$$

Maka :

$$G_{pb} = G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma) \quad (2.4)$$

Difus atau penyebaran iradians pada bidang miring akan bergantung pada proporsi kondisi langit di mana bidang terekspos sinar matahari. Jika sudut kemiringan bidang adalah ψ , maka:

$$G_{pd} = G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2 \quad (2.5)$$

Pada sudut kemiringan 0° , koefisien adalah $(1+1) / 2 = 1$, dan pada sudut 90° (vertikal) adalah $(1+0) / 2 = 0.5$. Oleh karena itulah permukaan vertikal hanya memperoleh separuh dari nilai penyebaran iradiasi bidang horizontal.

Nilai iradians pantulan (*reflected*) pada bidang miring tergantung dari kebalikan sudut kemiringan dan reflektansi (ρ) dari permukaan tanah, dan total iradians pada bidang horizontal. maka:

$$G_{pr} = \rho G_h (1 - \cos \psi) / 2 \quad (2.6)$$

Di mana reflektansi

$\rho = 0.2$ untuk permukaan tanah yang gelap, seperti bila tertutup oleh vegetasi, dan juga untuk iklim moderat serta iklim tropis lembab.

$\rho = 0.5$ untuk tanah yang tandus, pasir, dan juga untuk iklim panas kering.

Maka nilai total iradians pada bidang yang memiliki kemiringan adalah :

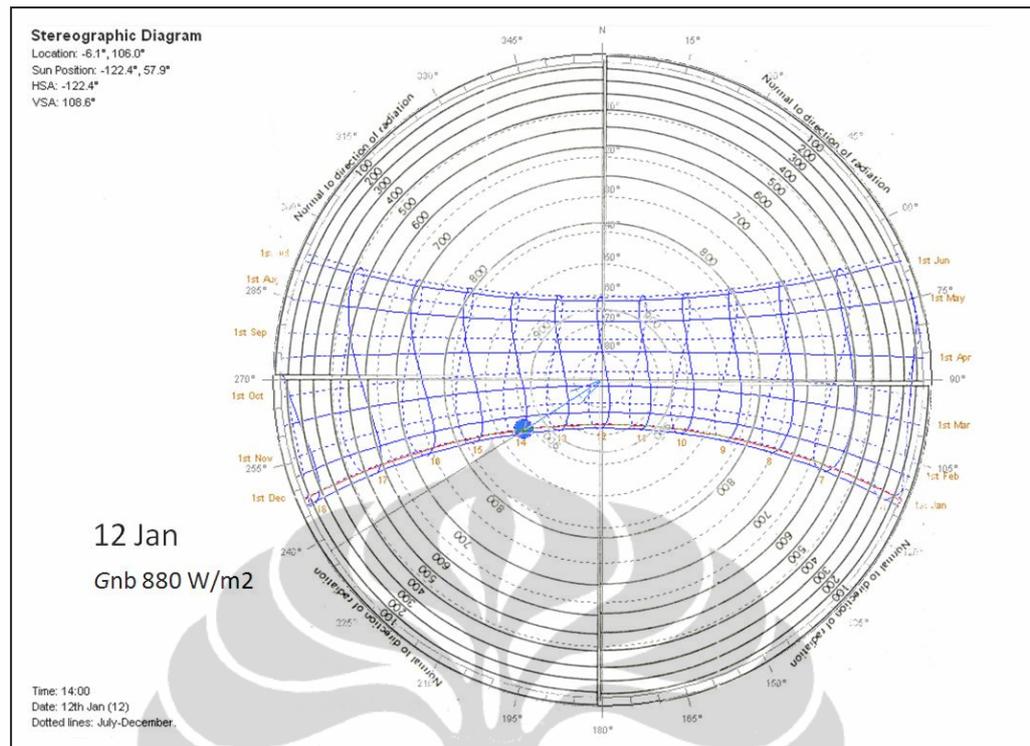
$$\begin{aligned} G_p &= G_{pb} + G_{pd} + G_{pr} \\ &= [G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma)] + [G_{hd} (1 + \cos \psi) / 2] + [\rho G_h (1 - \cos \psi) / 2] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Atau pada bidang vertikal:

$$G_v = [G_{hb} (\cos \beta / \sin \gamma)] + [0.5 G_{hd}] + [\rho 0.5 G_h] \quad (2.8)$$

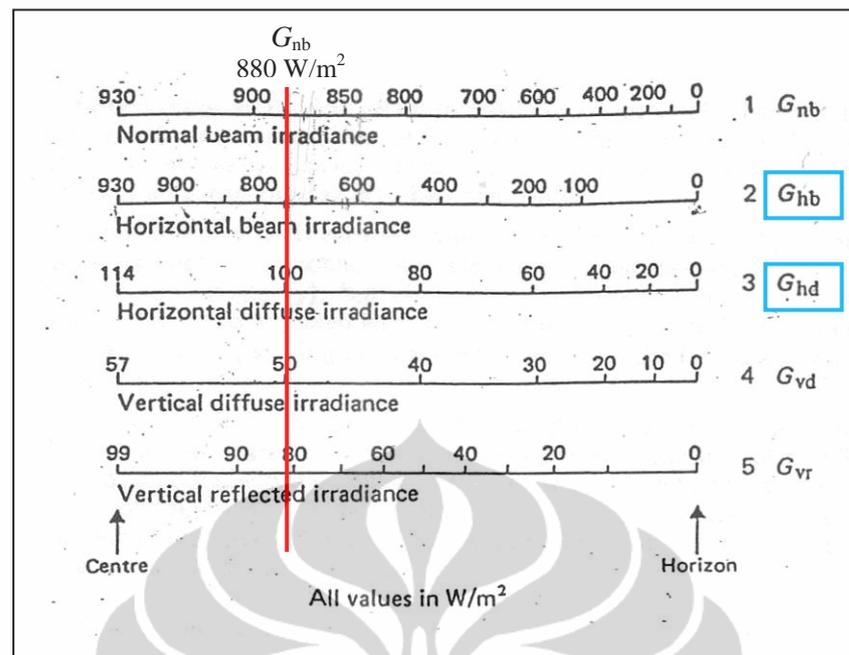
Untuk mengetahui skala radiasi pada bidang normal dan horizontal, maka diperlukan grafik skala radiasi. Skala radiasi ini penggunaannya ialah dengan cara di – *overlay* terhadap *sun-path* dan *dengan solar radiation overlays*.

Gambar 2.9 di bawah ini menunjukkan hasil *overlay* antara diagram lintasan matahari *stereographic* untuk Kota Depok, dengan diagram iradians untuk bidang normal versi Szokolay. Gambar tersebut mengambil contoh pada tanggal 12 Januari pukul 14.00, maka nilai iradians pada bidang normal (G_{nb}) adalah 880 W/m^2 . Data ini kemudian dimasukkan pada skala radiasi Szokolay untuk mendapatkan besarnya nilai iradians pada bidang horizontal (G_{hb}) dan iradians pada bidang horizontal yang *diffuse* atau disebarkan (G_{hd}).



Gambar 2.9 Contoh hasil *overlay sun-path* dan diagram iradians bidang normal untuk radiasi Kota Depok pada tanggal 12 Januari jam 14.00. diperoleh G_{nb} 880 W/m² (Sumber : *Sun-path* dari software *Ecotect v5.6* dan diagram iradians dikutip dari *Manual of Tropical Housing and Building*, Koenigsberger and Szokolay, 1974)

Gambar 2.10 di bawah ini menunjukkan hasil dari pemasukan nilai iradians pada bidang normal dari contoh kasus gambar 2.9, yaitu G_{nb} untuk Kota Depok pada tanggal 12 Januari pukul 14.00 sebesar 880 W/m². Dari data tersebut maka diperoleh $G_{hb} = 750$ W/m² dan $G_{hd} = 100$ W/m². Nilai G_{hb} dan G_{hd} ini akan menjadi variabel untuk mencari total iradians pada bidang miring. (Lihat rumus 2.4 dan 2.5 pada halaman 26)



Gambar 2.10 Data hasil iradians di atas di masukkan ke skala radiasi untuk mencari tahu nilai G_{hb} dan G_{hd} (Sumber : *Radiation scales* dikutip dari SV Szokolay, *Environmental Science Hand Book for Architect and Builders*, London: The Construction Press Lancaster, 1980)