

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya

Sumber energi berjumlah besar dan bersifat kontinyu terbesar yang tersedia bagi manusia adalah energi surya, khususnya energi elektrik magnetik yang dipancarkan oleh matahari. Sementara energi surya belum dipakai untuk sumber primer energi bahan bakar pada saat ini.

Tenaga surya dapat digunakan untuk:

1. Menghasilkan listrik menggunakan sel surya.
2. Menghasilkan pembangkit listrik tenaga surya.
3. Menghasilkan listrik menggunakan menara surya.
4. Memanaskan gedung secara langsung.
5. Memanaskan gedung melalui pompa panas.
6. Memanaskan makanan dengan menggunakan open surya.

Energi surya dapat dikonversikan ke bentuk energi lain, yaitu: Proses Helochemical, proses Helioelectrical, dan proses heliothermal (Soelaiman dkk, 2012) serta proses thermosiphon.

- a. Proses helochemica. Reaksi helochemica yang utama adalah proses fotosintesa. Proses ini adalah sumber dari semua bahan bakar fosil.
- b. Proses helioelectrical. Reaksi helioelectrical yang utama adalah produksi listrik oleh sel surya.
- c. Proses heliothermal adalah penyerapan radiasi matahari dan pengkonversian energy menjadi energi termal.
- d. Proses thermosiphon adalah metode pertukaran panas pasif, berdasarkan konveksi alami, yang mengedarkan fluida tanpa memerlukan pompa mekanis.

2.2 Intensitas Cahaya

Menurut Satwiko (2004) Intensitas cahaya (*luminous intensity*) adalah kuat cahaya yang dikeluarkan oleh sumber cahaya ke arah tertentu. Lux adalah satuan turunan SI dari pencahayaan dan daya pancar cahaya, mengukur fluks cahaya per

satuan luas. Dalam fotometri, ini digunakan sebagai ukuran intensitas, cahaya yang mengenai atau melewati permukaan. Untuk mengukur intensitas radiasi matahari menggunakan solar power meter dengan satuan watt/m^2 .

Radiasi yang jatuh pada permukaan material akan mengalami refleksi, adsorbsivitas, dan transmisivitas. Refleksi adalah pemantulan dari sebagian radiasi tergantung pada harga indeks bias dan sudut datang radiasi. Transmisi memberikan nilai besar radiasi yang dapat diteruskan oleh suatu lapisan permukaan. Kemampuan penyerapan (absorbsivitas) dari suatu permukaan merupakan hal yang penting dalam pemanfaatan radiasi surya (Widodo, M., 2017).

Besarnya kalor radiasi yang diserap melalui pipa kolektor dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini

$$Q_{\text{abs}} = I_r \cdot \tau \alpha \cdot A_c$$

Dimana = I_r = Intensitas radiasi matahari

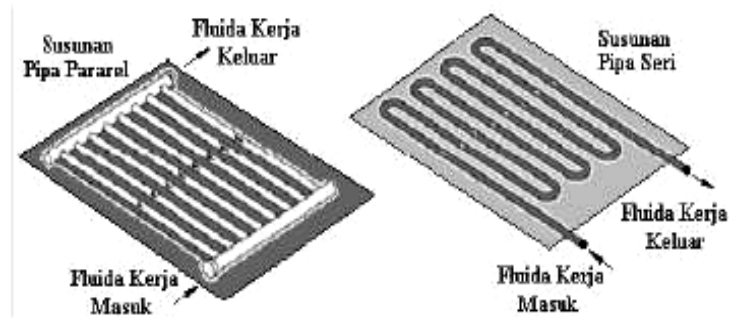
α = absorbsivitas pipa

τ = transmisivitas kaca penutup kolektor

2.3 Panel Kolektor

Panel kolektor merupakan suatu komponen atau peralatan yang fungsinya untuk menangkap atau menerima sinar matahari yang digunakan untuk memanasi air yang mengalir di dalam kolektor. Bahan untuk kolektor ini menggunakan kaca dan aluminium dari bahan kaleng bekas. Kaca berfungsi sebagai penerima dan pengumpul sinar matahari. Kaca mempunyai konduktivitas thermal rata-rata $0,043 \text{ W/m}^2\text{K}$, diperkirakan ada faktor warna yang berpengaruh pada kaca.

Panel kolektor yang digunakan adalah kolektor pelat datar. Kolektor jenis ini merupakan kolektor yang biasa digunakan di rumah untuk pemanas air dan pemanas ruangan. Kolektor pelat rata adalah suatu kotak logam yang dibatasi dengan suatu plastik atau suatu kaca atau penutup plastik yang disebut glazing dan suatu piringan penyerap berwarna gelap. Pemasangan kaca dapat tembus cahaya atau transparan.

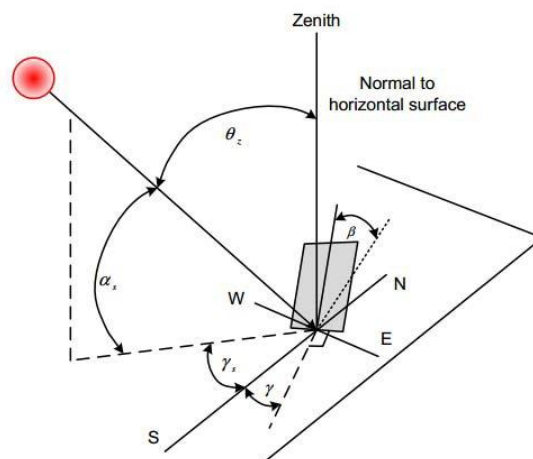


Gambar 2.1 Susunan pipa kolektor pararel dan seri

2.4 Kemiringan Panel

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan panas yang maksimal pada kolektor solar water heater adalah dengan menentukan posisi sudut kemiringan panel terhadap pergerakan arah matahari. Kemiringan atau *slope* adalah sudut antara permukaan bidang yang dinyatakan dengan permukaan horizontal. Menurut Ismail (2015) kemampuan kolektor surya untuk menangkap dan menyimpan radiasi dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari yang tertangkap oleh reflektifitas kolektor.

Untuk menggambarkan posisi matahari terhadap permukaan horizontal di bumi setiap saat, sudut berdasarkan koordinat bumi perlu dipahami. Sudut tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Posisi matahari dijelaskan oleh sudut-sudut matahari

Sudut ketinggian matahari (α_s), adalah ketinggian matahari diukur dalam derajat dari bidang datar bumi terhadap proyeksi sinar radiasi untuk posisi

matahari. Ketika matahari berada di kaki langit, $\alpha_s = 0^\circ$ dan ketika berada tepat di atas kepala, $\alpha_s = 90^\circ$. Di sebagian besar lintang, matahari tidak akan pernah berada langsung di atas kepala.

Hubungan antara suatu permukaan dengan radiasi surya yang datang dapat digambarkan dengan beberapa istilah yang diwakili oleh simbol-simbol sudut di bawah ini:

- Φ = sudut lintang merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, dimana untuk arah Utara diberi tanda positif; $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- δ = sudut deklinasi matahari terhadap garis zenith di ekuator pada saat jam 12.00 waktu matahari atau letak sudut kemiringan bumi-matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi-matahari. Untuk arah Utara diberi tanda positif; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.
- β = sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud dengan bidang horisontal; $0 \leq \beta \leq 180^\circ$
- γ = sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proyeksi dan arah normal permukaan pada bidang horisontal dengan garis meridian, (titik nol di Selatan, ke arah Timur bertanda negatif, ke arah Barat bertanda positif); $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- θ = sudut insiden datang, yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan arah normal dan permukaan tersebut.
- θ_z = sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan garis normal bidang horisontal.
- α = sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan bidang horisontal.
- ω = sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol tepat pada jam 12.00 waktu matahari, ke arah pagi bertanda positif, ke arah petang bertanda negatif).
- ω = sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol tepat pada jam 12.00 waktu matahari, ke arah pagi bertanda positif, ke arah petang bertanda negatif).

Sedangkan hubungan antara sudut datang dengan sudut-sudut yang lain oleh Beckman ditulis sebagai berikut:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varnothing \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varnothing \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varnothing \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varnothing \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Untuk suatu permukaan horisontal dimana $\beta = 0$, maka sudut datang akan sama dengan sudut zenith, karena garis normal permukaan berimpit dengan zenith, maka Persamaan menjadi:

$$\cos\theta_z = \cos\varnothing \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\varnothing \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Untuk sudut datang pada permukaan yang menghadap ke arah Utara atau Selatan dengan kemiringan, mempunyai hubungan sudut yang sama dengan sudut datang pada permukaan horisontal pada sudut lintang yang sudah disesuaikan sebagai $(\Phi - \beta)$. Sesuai dengan perjanjian tanda, untuk belahan bumi Utara, maka persamaan sudut datang pada Persamaan dapat dimodifikasi menjadi:

$$\cos\theta = \cos(\Phi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Sedangkan untuk belahan bumi selatan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\cos\theta_z = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi + \beta) \sin\delta$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Sudut jam matahari terbenam (ω_s) yang tercapai dapat dirumuskan sebagai:

$$\cos\omega_s = -\tan\varnothing \tan\delta \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Radiasi ekstraterrestrial merupakan radiasi surya di luar bumi atau radiasi di bumi jika tidak ada atmosfer. Menghitung radiasi ekstraterrestrial akan berguna dalam mengestimasi fraksi dan radiasi beam maupun difusi dan total intensitas yang jatuh pada suatu permukaan. Radiasi surya yang diterima oleh suatu permukaan horisontal di luar atmosfer bumi pada kondisi dimana arah rambatan radiasi tegak lurus bidang permukaan, oleh Beckman dirumuskan sebagai:

$$G_o = G_{sc} [1 + 0,033\cos(360n/365)]\cos\phi_z$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Dimana G_{sc} adalah konstanta matahari, dan n menyatakan urutan hari.

$$G_o = G_{sc} [1 + 0,033\cos(360n/365)](\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta)$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Dengan mensubsitusikan Persamaan (θ_z) ke dalam persamaan di atas, maka diperoleh:

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left(\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \left(\frac{\pi\omega_s}{180}\right) \sin\phi\sin\delta \right)$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Seringkali diperlukan perhitungan radiasi surya harian, maka Persamaan dapat diintegrasikan selama periode dan matahari terbit hingga terbenam. Radiasi surya harian, H_0 dinyatakan dalam satuan joule per meter persegi menurut persamaan yang diberikan Beckman sebagai berikut:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left(\cos\phi\cos\delta(\sin\omega_1 - \sin\omega_2) + \pi\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{180}\right) \sin\phi\sin\delta \right)$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$I_b = H_o(1-k) \quad \text{(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)}$$

k merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$k = I_o / H_o \quad \text{(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)}$$

Besar intensitas matahari difuse dapat dihitung dengan mengurangi radiasi total yang diterima permukaan bumi dengan radiasi langsung yang dirumuskan sebagai berikut :

$$I_d = H_o - I_b \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Permukaan pengumpul radiasi surya plat datar menyerap baik radiasi langsung maupun radiasi difusi. Radiasi yang datang pada suatu permukaan miring dapat diperkirakan dengan suatu faktor geometrik, R, yang menyatakan perbandingan radiasi total yang jatuh pada permukaan miring terhadap radiasi yang diterima apabila pada posisi horisontal.

$$R = I_T / I \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Faktor geometrik R dapat diimplementasikan pada komponen radiasi langsung maupun difusi:

$$R = (I_b/T) R_b + (I_d/T) R_d \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Indeks b, d, dan T secara berturut-turut menyatakan komponen radiasi langsung, komponen difusi, dan posisi miring. Dalam hubungan dengan geometri radiasi surya, Rb dapat ditetapkan dengan persamaan:

$$R_b = \cos\theta / \cos\theta_z \quad (\text{Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013})$$

Penentuan faktor Rd adalah berdasarkan keadaan langit. Apabila langit cerah maka R1 Rb, apabila langit berawan secara merata maka Rd = 1. Liu dan Jordan (1963) mengembangkan suatu model radiasi total pada permukaan miring yang terdiri atas tiga komponen yaitu radiasi langsung, radiasi difusi dan radiasi yang dipantulkan secara difusi dan tanah. Jadi radiasi surya total pada permukaan yang membentuk sudut β adalah:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

(Duffie, J.A. dan Beckman W.A. 2013)

Dari persamaan-persamaan yang telah kita dapatkan ini dapat kita lihat hubungan kemiringan panel yang akan mempengaruhi total intensitas radiasi cahaya matahari yang jatuh pada bidang permukaan panel kolektor.

2.5 Pipa Saluran Air

Dalam pemanas air tenaga surya ini, digunakan pipa aluminium sebagai penyalur aliran air. Aluminium ini dipilih karena mempunyai kecenderungan kuat atau tahan terhadap panas yang keluar dari kolektor juga lebih tahan korosi,

2.6 Perpindahan Panas

Sistem sirkulasi pemanas air energi surya merupakan sebuah rangkaian pemanas air yang terdiri dari berbagai komponen pemanas air untuk menghasilkan air panas yang konstan secara alami. Dalam pemanas air energi surya terdapat tiga cara perpindahan panas yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas secara konveksi merupakan proses perpindahan panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul fluida dari satu tempat ke tempat yang lain. Perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi dua, yaitu konveksi paksa dan konveksi alamiah. Dikatakan konveksi secara paksa apabila perpindahan panas tersebut disebabkan oleh bantuan dorongan sebuah blower atau alat lainnya. Sedangkan dikatakan konveksi alamiah, jika perpindahan panas tersebut disebabkan oleh perbedaan massa jenis. Pada umumnya, perpindahan panas secara konveksi (q , watt) ini dapat dinyatakan dengan persamaan hukum pendinginan Newton sebagai berikut :

$$q = h \cdot A (T_w - T)$$

dimana :

q = Laju perpindahan panas (Watt)

h = Koefisien konveksi (W/m^2K)

A = Luas permukaan benda (m^2)

T_w = Temperatur dinding (K)

T = Temperatur fluida (K)

(Holman, J.P. 1986)

dengan h adalah koefisien konveksi ($W/(m^2.K)$), A adalah luas permukaan (m^2), T_w adalah temperatur dinding (K), T adalah temperatur fluida (K). Pada umumnya koefisien konveksi h dinyatakan menggunakan parameter tanpa dimensi yang disebut bilangan Nusselt. Adapun bilangan Nusselt (Nu) dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$Nu = 0,027 (Re)^{0,8}(Pr)^n$$

(Holman, J.P. 1986)

dengan k adalah konduktivitas panas ($W/(m.K)$), dan d_i adalah diameter dalam pipa (m). Karena aliran dalam pemanas air energi surya laminar dan tabung-tabungnya adalah relatif pendek, maka bilangan Nusselt rata-rata dan harga rata-rata h dalam tabung dapat dicari menggunakan grafik seperti yang dianjurkan oleh Duffie dan Beckman. Untuk menggunakan grafik dalam gambar tersebut haruslah menghitung sebuah bilangan tidak berdimensi yang disebut dengan bilangan Reynolds. Adapun bilangan Reynolds (Re) dihitung menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{D \times V}{\nu}$$

Dimana :

- Re = Reynold Number
- D = Diameter tubing (m)
- V = Kecepatan Fluida (m/s)
- ν = Viskositas Kinematik (m^2/s)

(Kalsum, Leila dkk, 2019 Perpindahan Panas)

dengan \dot{m} adalah laju aliran massa fluida (kg/s), dan μ adalah viskositas dinamik ($kg/m.s$). Selain itu untuk menggunakan grafik dalam gambar tersebut haruslah menghitung sebuah bilangan tanpa dimensi lain yang disebut dengan bilangan Prandtl. Adapun bilangan Prandtl (Pr) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

Dimana :

- C_p = Panas spesifik fluida ($J/kg.K$)
- μ = Viskositas fluida ($kg.s/m^2$)
- k = Konduktivitas termal ($W/m.K$)

(Kalsum, Leila dkk, 2019 Perpindahan Panas)

dengan c_p adalah panas jenis spesifik pada tekanan konstan ($\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$). Maka dengan menggunakan bilangan-bilangan diatas dapat diperoleh persamaan yang selanjutnya digunakan dalam menentukan bilangan Nusselt rata-rata. Apabila pemanas air energi surya bekerja dalam daerah bilangan Reynolds antara 2000 sampai 10000, menurut Shewen dan Hollands menganjurkan bilangan Nusselt dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Nu = 0,00269 \cdot Re$$

(Kalsum, Leila dkk, 2019 Perpindahan Panas)

Perpindahan kalor atau alih bahang (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dari termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor atau bahang atau panas (*heat*). Secara matematika, laju konveksi kalor ditulis dengan persamaan :

$$H = \frac{Q}{t} = h A \Delta T$$

(Kalsum, Leila dkk, 2019 Perpindahan Panas)

Keterangan :

H = Q/t = laju kalor per satuan waktu (J/s).

h = Koefisien konveksi ($\text{W/m}^2\text{K}$).

ΔT = $T_2 - T_1$ = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$).

A = Luas penampang (m^2).

Secara matematika, laju kalor radiasi ditulis dengan persamaan:

$$H = Q/t = e\sigma AT^4$$

(Kalsum, Leila dkk, 2019 Perpindahan Panas)

Keterangan:

H = Laju penyerapan kalor.

Q = Energi kalor yang diserap.

t = Waktu lamanya penyerapan.

E = Koefisien emisivitas benda.

σ = konstanta $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$.

A = luas permukaan benda.

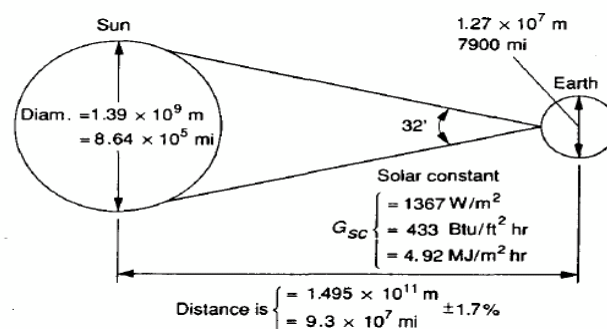
T = suhu kalor yang diserap

2.8 Emisivitas

Emisivitas adalah rasio *energy* yang diradiasikan oleh material tertentu dengan *energy* yang diradiasikan oleh benda hitam (*black body*) pada temperatur yang sama. Emisivitas adalah ukuran dari kemampuan suatu benda untuk meradiasikan energi yang diserapnya.

Benda hitam sempurna memiliki emisivitas sama dengan 1 ($\epsilon = 1$) sementara objek sesungguhnya memiliki emisivitas kurang dari satu. Emisivitas adalah satuan yang tak berdimensi. Pada umumnya, semakin kasar dan hitam benda tersebut, emisivitas meningkat mendekati 1. Semakin reflektif suatu benda, maka benda tersebut memiliki emisivitas mendekati 0. Hukum Stefan- Boltzman menyatakan bahwa “ Jumlah energi yang dipancarkan per satuan luas permukaan benda hitam dalam satuan waktu akan berbanding lurus dengan kekuatan keempat suhu absolut benda hitam tersebut.”

Radiasi yang diemiskan matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%.



Gambar 2.3 Hubungan Bumi Dengan Matahari (Duffie, 1980).

Pada gambar 2.3 yaitu hubungan antara bumi dan matahari memiliki jarak yang disebut dengan jarak eksentris dimana memiliki variasi sebesar 1,7%. Dari

hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata antara bumi dan matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 32° memiliki nilai kontanta matahari (GSC) sebesar 1367 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. Insolation terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka insolation dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek.