

### III. KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

Kolektor surya plat datar adalah suatu bentuk khusus alat penukar panas di mana modus perpindahan panas radiasi memegang peranan yang sangat penting. Apabila pada pesawat penukar panas konvensional, energi panas dipindahkan antar fluida dan radiasi bukanlah suatu hal yang penting maka pada kolektor surya plat datar, energi dipindahkan dari sumber energi radiasi yang berjarak tertentu, dan melalui prinsip konversi fototermal, energi radiasi matahari diubah menjadi energi panas.

Prinsip konversi fototermal dapat dijelaskan dengan fenomena efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya plat datar, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap plat datar yang bertindak sebagai pengumpul energi. Plat yang telah menyerap energi ini lalu bertindak sebagai sumber radiasi dengan memancarkan radiasi gelombang panjang yang tidak dapat menembus kaca. Dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca, maka udara yang berada dalam ruang kaca mengalami pemanasan sehingga temperatur dalam ruang kaca meningkat dan lebih tinggi daripada temperatur sekeliling. Kolektor surya plat datar dirancang untuk penggunaan energi pada temperatur moderat. Untuk keperluan temperatur kerja

yang lebih tinggi, digunakan kolektor konsentrasi. Pada umumnya kolektor surya plat datar digunakan untuk pemanas air, pemanas ruang, pengkondisian udara, dan proses pengeringan. Kolektor ini tidak memerlukan alat pengarah matahari, jadi posisi kolektor relatif tetap. Oleh karena itu secara mekanik, kolektor surya plat datar lebih sederhana daripada kolektor konsentrasi dan perawatannya lebih mudah.

### 1. BAGIAN-BAGIAN UTAMA KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

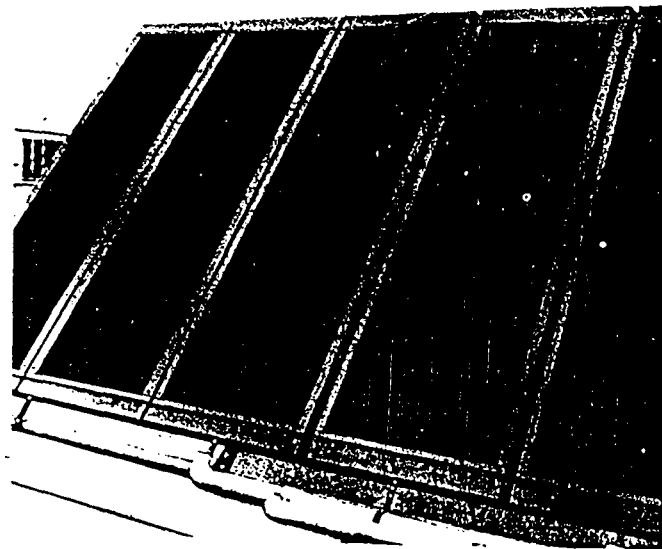
Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian-bagian utama, sebagai berikut:

- Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah tembaga, baja, aluminium, yaitu logam yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya. Apabila yang digunakan adalah plat tembaga atau baja maka dapat diberi lapisan bahan khusus yang dapat meningkatkan kemampuan penyerapan radiasi sekaligus meminimumkan emisi.
- Saluran alir (*flow passage*), sebagai tempat jalannya fluida kerja dalam kolektor. Apabila fluida kerjanya air, saluran berupa pipa-pipa yang dilekatkan pada plat kolektor atau sudah menjadi satu bagian dari plat penyerap. Bila fluida kerjanya udara saluran alir berupa suatu ruang di antara plat penyerap dan insulator.
- Penutup transparan, terbuat dari bahan semitransparan yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi. Fungsinya adalah untuk mengurangi kehilangan

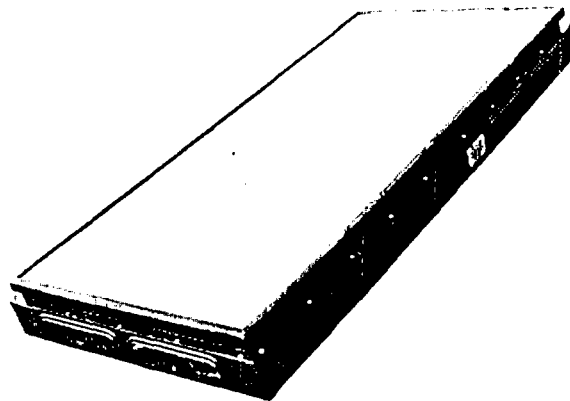
panas konveksi dan radiasi ke sekeliling. Bahan yang digunakan umumnya kaca atau bisa juga plastik. Penutup bisa terdiri dari satu atau beberapa lapis kaca.

- Insulator, yaitu alat penyekat terbuat dari bahan dengan sifat konduktivitas rendah. Sesuai dengan namanya, fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalkan kehilangan panas pada bagian bawah kolektor.
- Kerangka atau kotak penyangga, sebagai tempat atau wadah kolektor.

Gambar 3-1 menampilkan foto kolektor surya plat datar pemanas air dan udara.



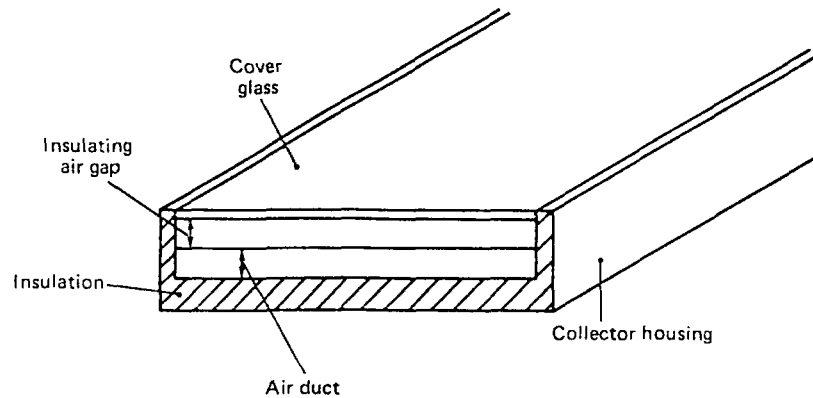
(a) Liquid heater



(b) Air heater

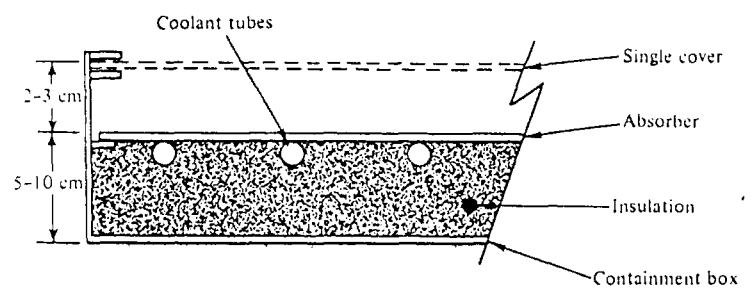
Gambar 3-1 Kolektor surya plat datar: (a) pemanas udara, (b) pemanas air.

Penampilan kolektor surya plat datar pemanas udara secara skematik ditunjukkan pada Gambar 3-2.

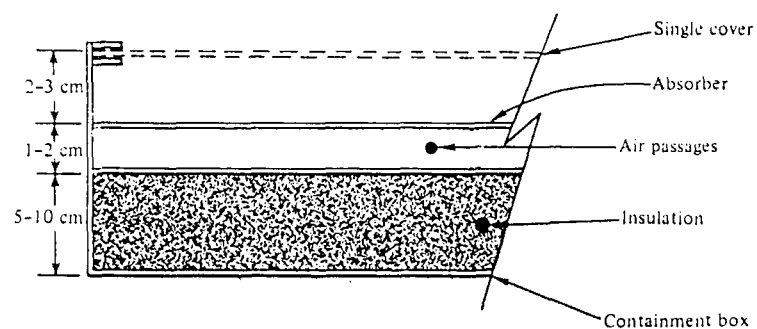


Gambar 3-2 Diagram skematik kolektor surya plat datar pemanas udara.

Pada bagian antara penutup transparan dan plat penyerap terdapat ruangan kaca dengan kedalaman kira-kira 2,5 cm. Di dalam ruangan inilah terjadi proses konversi fototermal. Pada Gambar 3-3 diperlihatkan penampang melintang kolektor surya plat datar baik untuk fluida kerja udara maupun air.



(a) Liquid heater



(b) Air heater

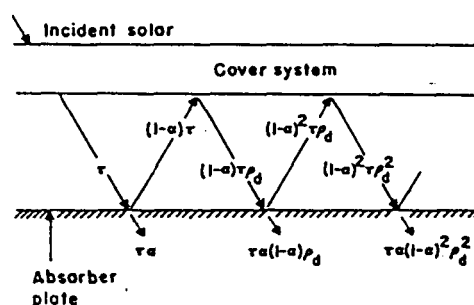
Gambar 3-3 Potongan melintang kolektor surya plat datar: (a) udara (b) air.

## 2. RADIASI OPTIK PADA KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

### 2.1 Properti Radiasi Gabungan Antara Penutup Dan Plat Penyerap

Radiasi yang menembus penutup semitransparan akan diteruskan sampai menimpa plat penyerap, di mana sebagian diserap dan sebagian lainnya dipantulkan kembali ke penutup. Namun seluruh radiasi tidak hilang karena beberapa dipantulkan kembali ke plat penyerap. Gambar 3-4 menunjukkan teknik *ray tracing* untuk mendapatkan sifat radiasi gabungan antara *cover* dan plat. Sifat gabungan ini disebut sebagai *transmittance-absorptance product*, ( $\tau\alpha$ ), di mana  $\tau$  adalah transmitivitas penutup dan  $\alpha$  adalah absorptivitas plat penyerap.

Energi radiasi yang datang diserap oleh plat sebesar  $\tau\alpha$  dan  $(1-\alpha)\tau$  bagian dipantulkan kembali ke penutup. Selanjutnya  $(1-\alpha)\tau\rho_d$  bagian dipantulkan kembali ke plat penyerap,  $\rho_d$  menyatakan reflektansi penutup oleh radiasi difus yang datang dari bawah.



Gambar 3-4 Penyerapan radiasi surya oleh plat kolektor.

Begitu seterusnya terjadi pemantulan radiasi sampai diperoleh besaran energi yang diserap.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\tau\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (3-1)$$

Harga  $(\tau\alpha)$  pada kenyataannya kira-kira lebih besar 1% dari harga  $\tau$  dikali  $\alpha$ , maka persamaan menjadi<sup>1</sup>

$$(\tau\alpha) \cong 1,01\tau\alpha \quad (3-2)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mengestimasi *transmittance-absorptance product*.

## 2.2 Penyerapan Radiasi Oleh Plat Datar

Berdasarkan pengertian dari produk transmitansi-absorptansi di atas, maka jumlah radiasi datang  $I_T$  pada permukaan, diserap oleh kolektor surya plat datar sebesar

$$S = (\tau\alpha) I_T \quad (3-3)$$

Radiasi surya yang tiba pada suatu permukaan terdiri dari tiga bagian yaitu radiasi *beam*, difus dan radiasi yang dipantulkan dari tanah. Oleh karena itu penyerapan radiasi,  $S$  pada kolektor surya plat datar dapat dihitung secara terpisah menurut distribusinya. Dengan mengalikan masing-masing suku dalam persamaan (2-23) dengan produk transmitansi-absorptansi, maka radiasi surya yang terserap kolektor dinyatakan dengan

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g (I_b + I_d) (\tau\alpha)_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3-4)$$

<sup>1</sup> J.A.Duffie & W.A.Beckman, Solar Engineering Of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1991, hal 230.

Subskrip b, d, dan g menyatakan *beam*, *diffuse* dan *ground reflected* secara berurutan. Faktor  $\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)$  adalah faktor bentuk dari kolektor terhadap langit dan  $\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$  adalah faktor bentuk dari kolektor terhadap tanah.

Sebenarnya sifat transmittivitas dan absorptivitas adalah fungsi dari sudut insiden, namun pada umumnya, untuk menyederhanakan perhitungan, maka harga  $\tau$  dan  $\alpha$  diambil sesuai dengan harga sifat penutup dan plat penyerap.

### 3. KESEIMBANGAN ENERGI PADA KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

Keseimbangan energi pada kolektor surya plat datar dapat dinyatakan dalam distribusi energi surya yang datang dalam bentuk energi berguna, kerugian optis, dan kehilangan panas. Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor sebagian besar diserap oleh plat penyerap tiap satuan luas kolektor,  $S$  setelah sebelumnya mengalami pengurangan energi karena sifat optis penutup dan plat. Energi panas yang hilang dari kolektor disebabkan adanya konduksi, konveksi dan radiasi, dinyatakan dengan koefisien kehilangan panas total (*overall*)  $U_L$  dikalikan dengan selisih antara temperatur plat rata-rata  $T_{pm}$  dengan temperatur ambien. Jumlah energi berguna,  $Q_u$  dari kolektor dengan luasan  $A_c$  dengan dapat dinyatakan dalam persamaan keseimbangan energi berikut<sup>2</sup>,

$$Q_u = A_c \left[ S - U_L(T_{pm} - T_a) \right] \quad (3-5)$$

Persamaan ini dapat diformulasikan kembali untuk memperoleh persamaan keseimbangan energi yang dinyatakan dalam temperatur fluida masuk. Adalah lebih

mudah untuk menentukan temperatur fluida masuk daripada temperatur plat rata-rata, karena temperatur plat merupakan fungsi dari desain kolektor yang sulit untuk ditetapkan.

Sejumlah asumsi<sup>3</sup> dapat digunakan dalam analisis dan perhitungan kolektor surya plat datar untuk dijadikan sebagai dasar perhitungan tanpa mengaburkan kondisi fisik dasar, yaitu:

- Unjuk kerja adalah *steady state*.
- Tidak ada penyerapan energi oleh penutup.
- Aliran panas melalui penutup dan penyekat adalah satu dimensi.
- Properti tidak tergantung pada temperatur.
- Kehilangan panas baik melalui bagian atas maupun bagian bawah kolektor adalah terjadi pada temperatur yang sama.
- Debu dan kotoran pada kolektor dapat diabaikan.
- Peneduhan plat penyerap kolektor dapat diabaikan.

### 3.1 Koefisien Kehilangan Panas Overall Kolektor

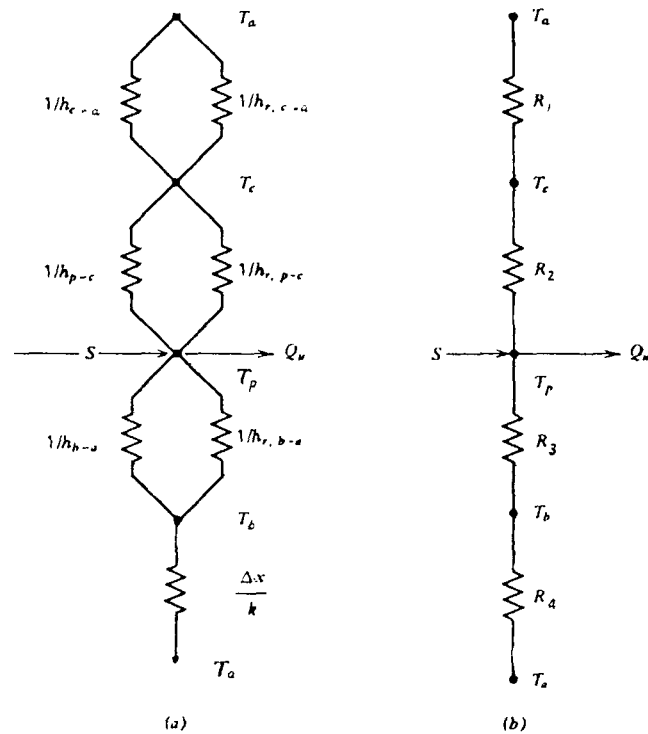
Untuk menyederhanakan persamaan keseimbangan energi pada kolektor, digunakan suatu koefisien kehilangan panas secara menyeluruh. Koefisien kehilangan panas *overall* tersusun dari suatu rangkaian kehilangan panas antara bagian-bagian kolektor. Suatu jaringan termal kolektor surya dapat dianalogikan dari rangkaian hambatan listrik, ditampilkan pada Gambar 3-5 dan Gambar 3-6 yang digunakan untuk menjelaskan konsep ini. Pada suatu titik pada plat penyerap dengan temperatur  $T_p$ , sejumlah energi diserap

---

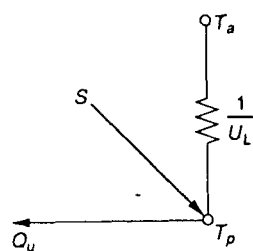
<sup>3</sup>

Ibid hal 254

oleh plat pengumpul. Lalu energi yang diserap ini didistribusikan dalam bentuk energi berguna  $Q_u$  dan kehilangan panas melalui bagian atas dan bawah kolektor.



Gambar 3-5 Jaringan termal kolektor surya plat datar: (a) dalam komponen radiasi, konveksi dan konduksi; (b) dalam tahanan termal antar plat.



Gambar 3-6 Jaringan termal ekivalen kolektor surya plat datar.

Energi panas yang hilang dari plat kolektor ke arah atas adalah kombinasi perpindahan panas konveksi dan radiasi. Kehilangan energi persatuan luas dari plat penyerap ke penutup adalah sama dengan kehilangan energi pada bagian penutup ke sekeliling, dinyatakan<sup>4</sup>

$$q_{\text{loss, top}} = h_{c, p-c} (T_p - T_c) + \frac{\sigma (T_p^4 + T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (3-6)$$

di mana  $h_{c, p-c}$  adalah koefisien perpindahan panas konveksi antara dua plat paralel yang telah dijelaskan bagian perpindahan panas konveksi pada Bab II. Persamaan 3-5 dapat dinyatakan dalam koefisien perpindahan panas radiasi sebagai berikut

$$q_{\text{loss, top}} = (h_{c, p-c} + h_{r, p-c})(T_p - T_c) \quad (3-7)$$

di mana

$$h_{r, p-c} = \frac{\sigma(T_p - T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (3-8)$$

Jadi tahanan termal antara plat dan penutup,  $R_2$  dapat dinyatakan

$$R_2 = \frac{1}{h_{c, p-c} + h_{r, p-c}} \quad (3-9)$$

Kehilangan energi pada bagian penutup yang berkontak dengan udara luar terdiri dari konveksi oleh udara sekitar dan radiasi terhadap langit. Koefisien kehilangan panas radiasi antara penutup dan sekitar,  $h_{r, c-a}$  dapat dirumuskan<sup>5</sup>

$$h_{r, c-a} = \frac{\sigma \epsilon_c (T_c - T_a)(T_c^2 + T_a^2)}{(T_c - T_a)} \quad (3-10)$$

---

<sup>4</sup> Ibid hal 254

<sup>5</sup> Ibid hal 257

Jadi tahanan termal  $R_1$

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r, c-a}} \quad (3-11)$$

Sehingga koefisien kehilangan panas bagian atas kolektor dapat dinyatakan dalam  $U_t$

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (3-12)$$

Untuk mendapatkan harga  $U_t$  diperlukan asumsi temperatur penutup terlebih dulu. Lalu harga  $U_t$  digunakan untuk memeriksa temperatur penutup. Demikian proses iterasi berlanjut sampai harga temperatur penutup menunjukkan perbedaan yang kecil antara iterasi yang berurutan. Kehilangan energi antara plat dan penutup pertama setara dengan kehilangan fluks energi pada bagian atas. Dengan konsep ini, maka temperatur penutup dapat dinyatakan<sup>6</sup>

$$T_j = T_i - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c, i-j} + h_{r, i-j}} \quad (3-13)$$

Indeks  $i$  dan  $j$  masing-masing menyatakan urutan plat paralel.

Untuk mendapatkan harga  $U_t$  dengan cara di atas adalah suatu proses perhitungan yang membosankan. Untuk itu suatu persamaan empiris untuk menghitung  $U_t$  secara manual maupun dengan komputer telah dikembangkan oleh Klein (1979). Persamaan ini dapat dengan baik digunakan pada temperatur plat rata-rata dari temperatur ambien hingga 200 °C dengan kesalahan kira-kira 0,3 W/m<sup>2</sup> °C.

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{T_{pm} - T_a}{(N+f)} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} - T_a)(T_{pm}^2 - T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0,00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N+f-1+0,133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \quad (3-14)$$

di mana

$N$  = jumlah penutup kaca

$f = (1+0,089h_w-0,1166h_w \varepsilon_p)(1+0,07866N)$

$C = 520(1-0,000051\beta^2)$  untuk  $0 < \beta < 70$

Untuk  $70 < \beta < 90$ , digunakan  $\beta = 70$

$e = 0,430(1-100/T_{pm})$

$\beta$  = kemiringan kolektor (derajat)

$\varepsilon_g$  = emitansi kaca penutup

$\varepsilon_p$  = emitansi plat

$T_a$  = temperatur ambien (K)

$T_{pm}$  = temperatur plat rata-rata (K)

$h_w$  = koefisien perpindahan panas oleh angin ( $W/m^2 K$ )

Kehilangan energi melalui bagian bawah kolektor dinyatakan oleh dua rangkaian tahanan termal  $R_4$  pada penyekat. Koefisien kehilangan panas bagian bawah dinyatakan oleh  $U_b$

$$U_b = \frac{1}{R_4} = \frac{k}{L} \quad (3-15)$$

Kemampuan insulator dinyatakan oleh konduktivitas termal bahan  $k$  dan tebal insulator  $L$ .

Akhirnya koefisien kehilangan panas  $U_L$  adalah jumlah dari koefisien kehilangan panas bagian atas dan koefisien kehilangan panas bagian bawah

$$U_L = U_t + U_b \quad (3-16)$$

### 3.2 Faktor Efisiensi Kolektor

Pada dasarnya, persamaan keseimbangan energi pada kolektor surya plat datar dinyatakan dalam  $T_{pm}$ , yaitu temperatur plat rata-rata. Namun untuk menghitung jumlah energi berguna kolektor, lebih suka menyatakan persamaan energi dalam temperatur fluida,  $T_f$  karena temperatur fluida lebih mudah ditentukan. Apabila persamaan dinyatakan dalam  $T_f$ , maka terdapat suatu faktor efisiensi kolektor  $F'$  yaitu rasio energi berguna yang diperoleh terhadap energi berguna yang dihasilkan apabila permukaan penyerap kolektor berada pada temperatur fluida lokal. Persamaan keseimbangan energi dalam  $T_f$ <sup>7</sup>

$$q_u = F' [S - U_L(T_f - T_a)] \quad (3-17)$$

Faktor efisiensi kolektor diturunkan dari persamaan keseimbangan energi pada jaringan termal kolektor surya plat datar, dirumuskan<sup>8</sup>

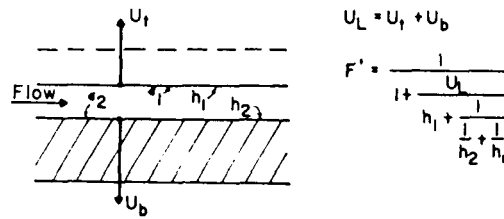
$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_L}{h_1 + \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_r}}}} \quad (3-18)$$

Untuk lebih jelasnya, diagram kolektor surya plat datar pemanas udara diperlihatkan pada Gambar 3-7

---

<sup>7</sup> Ibid hal 298

<sup>8</sup> Ibid hal 300



Gambar 3-7 Diagram kolektor surya plat datar pemanas udara.

Koefisien perpindahan panas konveksi  $h_1$  dan  $h_2$  dievaluasi dengan persamaan (2-27). Kehilangan panas radiasi antara permukaan 1 dan permukaan 2 dinyatakan dengan  $h_r$  sesuai dengan rumus

$$h_r = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-19)$$

dengan  $\varepsilon_1$  dan  $\varepsilon_2$  adalah emitansi permukaan 1 dan 2. Pembilang persamaan (3-19) dapat disederhanakan ke dalam bentuk persamaan (2-46).

Koefisien kehilangan panas bagian atas dan bawah kolektor masing-masing dinyatakan dengan  $U_f$  dan  $U_b$ .

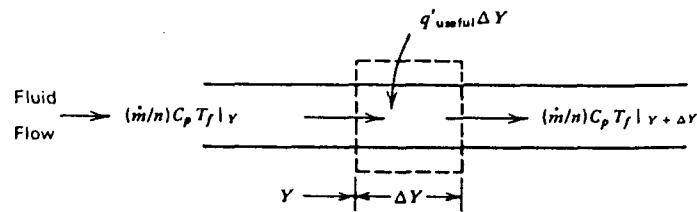
### 3.3 Distribusi Temperatur Dalam Arah Aliran Fluida

Fluks energi berguna dari kolektor surya pada gilirannya dipindahkan ke fluida kerja. Fluida memasuki kolektor pada temperatur  $T_{f,i}$  dan menaikkan temperatur pada keluaran pada  $T_{f,o}$ . Keseimbangan energi pada fluida yang melalui kolektor dengan lebar  $W$ , panjang  $\Delta Y$  ditunjukkan pada Gambar 3-8 dan dapat dinyatakan dengan persamaan<sup>9</sup>

$$\dot{m} C_p T_f|_Y - \dot{m} C_p T_f|_{Y+\Delta Y} + \Delta Y q_u' = 0 \quad (3-20)$$

di mana  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa dan  $q_u'$  adalah energi berguna. Dengan membagi persamaan dengan  $\Delta Y$  dan mendapatkan limit  $\Delta Y$  mendekati nol dan substitusi persamaan untuk  $q_u'$  diperoleh

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{dy} - WF' [S - U_L(T_f - T_a)] = 0 \quad (3-21)$$



Gambar 3-8 Keseimbangan energi pada partikel fluida.

Apabila diasumsi bahwa  $F'$  dan  $U_L$  tidak dipengaruhi letak, maka solusi untuk temperatur fluida pada suatu posisi  $y$  adalah

$$\frac{T_f - T_a - \frac{s}{U_L}}{T_{fi} - T_a - \frac{s}{U_L}} = \exp \left( \frac{-U_L WF' y}{\dot{m} C_p} \right) \quad (3-22)$$

Bila kolektor mempunyai panjang  $L$  dalam arah aliran, maka temperatur fluida keluar  $T_{fo}$  diperoleh dengan substitusi  $L$  untuk  $y$  pada persamaan. Besaran  $WL$  adalah luas kolektor.

$$\frac{T_{fo} - T_a - \frac{s}{U_L}}{T_{fi} - T_a - \frac{s}{U_L}} = \exp \left( \frac{-A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \quad (3-23)$$

### 3.4 Faktor Pemindahan Panas Dan Faktor Aliran Kolektor

Faktor pemindahan panas kolektor (*collector heat removal factor*),  $F_R$  adalah besaran yang membandingkan perolehan energi berguna kolektor yang sebenarnya terhadap perolehan energi berguna bila seluruh permukaan kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Besaran ini dinyatakan dalam persamaan<sup>10</sup>

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad (3-24)$$

selanjutnya dengan mengolah persamaan di atas

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ \frac{T_{fo} - T_{fi}}{\frac{S}{U_L} - (T_{fi} - T_a)} \right]$$

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ \frac{(T_{fo} - T_a - \frac{S}{U_L}) - (T_{fi} - T_a - \frac{S}{U_L})}{\frac{S}{U_L} - (T_{fi} - T_a)} \right]$$

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \frac{\frac{S}{U_L} - (T_{fo} - T_a)}{\frac{S}{U_L} - (T_{fi} - T_a)} \right]$$

dengan mengambil bentuk Persamaan 3-23 maka

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp \left( \frac{-A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (3-25)$$

Suatu faktor pembanding  $F_R$  terhadap  $F'$  yaitu faktor aliran kolektor<sup>11</sup> atau *collector flow factor*,  $F''$  dinyatakan

<sup>10</sup> Ibid hal 277

<sup>11</sup> Ibid hal 277

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L F'} \left[ 1 - \exp \left( \frac{-A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (3-26)$$

Besaran  $F_R$  setara dengan keefektifan pesawat penukar panas konvensional yang didefinisikan sebagai perbandingan perpindahan panas aktual dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi yaitu pada saat seluruh kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Akhirnya persamaan energi berguna kolektor dapat dinyatakan<sup>12</sup>

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \quad (3-27)$$

Ini adalah persamaan yang sangat penting dan dapat diaplikasikan pada semua kolektor surya plat datar.

#### 3.4.1 Persamaan Energi Berguna Pada Pemanas Udara Siklus Terbuka.

Pada proses pengeringan secara langsung, udara luar kerap kali digunakan sebagai media pemanas. Udara luar yang dipanaskan adalah suatu operasi ideal untuk kolektor selama kolektor bekerja pada temperatur yang sangat dekat dengan temperatur ambien. Temperatur fluida inlet kolektor tidak lain adalah temperatur udara ambien itu sendiri.

Dalam kasus ini, persamaan menjadi sederhana<sup>13</sup>

$$Q_u = A_c F_R S \quad (3-28)$$

### 3.5 Temperatur Fluida Rata-Rata Dan Temperatur Plat Rata-Rata

Untuk menghitung performa kolektor, perlu diketahui koefisien kehilangan panas secara keseluruhan dan koefisien perpindahan panas fluida.

---

<sup>12</sup> Ibid hal 278  
<sup>13</sup> Ibid hal 623

Bagaimanapun juga,  $U_L$  dan  $h_f$  adalah fungsi dari temperatur. Temperatur fluida rata-rata dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan dari nol sampai  $L$ <sup>14</sup>

$$T_{fm} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(y) dy \quad (3-29)$$

Dengan melakukan integrasi dan memasukkan  $F_R$  dari persamaan (3-25) dan  $Q_u$  dari persamaan (3-27), diperoleh temperatur fluida rata-rata yang ditunjukkan oleh Klein et al. (1974)

$$T_{fm} = T_f + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1-F'') \quad (3-30)$$

Tempertur rata-rata plat selalu akan lebih tinggi daripada temperatur fluida rata-rata karena tahanan termal antara permukaan serap dan fluida.

Jika persamaan (3-5) dan persamaan (3-27) disetarakan maka diperoleh pemecahan untuk temperatur rata-rata plat

$$T_{pm} = T_f + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1-F_R) \quad (3-31)$$

Persamaan ini dapat diselesaikan dengan cara iteratif dengan persamaan  $U_L$ .

Temperatur plat diperkirakan terlebih dahulu untuk menghitung  $U_L$ .

Dengan harga perkiraan  $F_R$ ,  $F''$ , dan  $Q_u$  maka temperatur rata-rata plat yang baru diperoleh, selanjutnya digunakan untuk menghitung  $U_L$  kembali. Proses ini terus berulang hingga diperoleh harga  $T_{pm}$  yang tidak menunjukkan perbedaan yang berarti.

### 3.6 Efisiensi Kolektor Surya Plat Datar

Pengukuran performa kolektor surya plat datar adalah pada efisiensi pengumpulannya, yang didefinisikan sebagai perbandingan perolehan energi berguna selama periode waktu tertentu terhadap energi surya yang datang selama periode waktu yang sama

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad (3-32)$$