

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Energi Surya**

Energi surya merupakan energi yang didapat dengan mengkonversi energi radiasi panas surya (Matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi. Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi Matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara. Upaya pengembangan cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar (Anonim, 2012).

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan, serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut, dikembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan. Potensi energi

terbarukan, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar.

Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, 2 macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu:

- *Teknologi energi surya fotovoltaik*, energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi, dan lemari pendingin dengan kapasitas total  $\pm 6$  MW.
- *Teknologi energi surya termal*, energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air (Kementrian ESDM, 2010).

## **2.2. Perpindahan Panas**

Konduksi kalor pada banyak materi dapat digambarkan sebagai hasil tumbukan molekul-molekul. Ketika suatu ujung benda dipanaskan, molekul-molekul di tempat itu bergerak lebih cepat, sehingga bertumbukan dengan molekul-molekul yang berada di sampingnya, molekul tersebut mentransfer sebagian energi ke molekul-molekul yang lain sepanjang benda tersebut. Dengan demikian energi gerakan termal ditransfer oleh tumbukan molekul sepanjang benda. Pada logam,

tumbukan antara elektron-elektron bebas di dalam logam dan atom logam tersebut mengakibatkan terjadinya konduksi. Konduksi kalor hanya terjadi jika ada perbedaan temperatur (Giancoli, 2001).

Menurut Tipler (1998), Energi panas ditransfer dari suatu tempat ke tempat lain melalui tiga proses: yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada konduksi, energi panas ditransfer lewat interaksi antara atom-atom atau molekul, walaupun atom-atom dan molekulnya sendiri tidak berpindah. Sebagai contoh, jika salah satu ujung sebuah batang padat dipanaskan, maka atom di ujung dipanaskan bergetar dengan energi yang lebih besar dibandingkan di ujung yang lebih dingin. Karena interaksi atom-atom yang lebih energetik dengan sekitarnya, energi dipindahkan sepanjang batang. Jika padatan adalah logam, maka perpindahan energi panas dibantu oleh elektron-elektron bebas, yang bergerak di seluruh logam, sambil menerima dan memberi energi panas ketika bertumbukan dengan atom-atom logam. Dalam gas, panas dikonduksi oleh tumbukan langsung molekul-molekul gas. Molekul di bagian yang lebih panas dari gas mempunyai energi rata-rata yang lebih tinggi daripada molekul-molekul di bagian yang lebih dingin dari gas. Bila molekul yang berenergi lebih tinggi bertumbukan dengan molekul yang berenergi lebih rendah, maka sebagian energi molekul yang berenergi tinggi ditransfer ke molekul berenergi rendah.

Jika batang padat dengan penampang yang luasnya  $A$ , salah satu ujung batang dipertahankan pada suatu temperatur tinggi dan ujung lainnya pada temperatur rendah, maka energi panas terus menerus dikondusikan lewat batang dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Dalam keadaan mantap, temperatur berubah

secara uniform (jika batang uniform) dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Laju perubahan temperatur sepanjang batang  $\Delta T/\Delta x$  dinamakan gradient temperatur. Perhatikan bagian yang kecil dari batang, suatu potongan yang tebalnya  $\Delta x$ , dan misalkan  $\Delta T$  adalah beda temperatur pada potongan. Jika  $\Delta Q$  jumlah energi panas yang dikonduksikan lewat potongan itu dalam waktu  $\Delta t$ , maka laju konduksi energi panas  $\Delta Q/\Delta t$  dinamakan arus panas  $I$ . Secara eksperimen, ditemukan bahwa arus panas sebanding dengan gradient temperatur dan dengan luas penampang  $A$ , secara umum dirumuskan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:  $I$  = Laju perpindahan kalor (W).

$\Delta t$  = Waktu (s)

$\Delta Q$  = Jumlah energi panas (Joule atau W.s).

$k$  = Konduktivitas termal ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ ).

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$  = Gradien suhu ( $^\circ\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

Menurut Giancoli (2001), konveksi adalah proses di mana kalor ditransfer dengan pergerakan molekul dari suatu tempat ke tempat yang lain. Sementara konduksi melibatkan molekul-molekul yang hanya bergerak dalam jarak yang kecil dan bertumbukan, koveksi melibatkan pergerakan molekul dalam jarak yang besar. Tungku dengan udara yang dipaksa, di mana udara dipanaskan kemudian ditiup dengan kipas angin ke dalam ruangan, merupakan satu contoh *konveksi yang dipaksakan*. Salah satu contoh *konveksi alami* adalah udara di atas radiator

memuai pada saat dipanaskan, dan kerapatannya akan berkurang, sehingga udara panas tersebut naik.

Menurut Tipler (1998), konveksi panas dipindahkan langsung lewat perpindahan massa. Sebagai contoh, bila udara dekat lantai dipanaskan, udara memuai dan naik karena kerapatannya yang lebih rendah. Jadi energi panas di udara panas ini dipindahkan dari lantai ke langit-langit bersama dengan massa udara panas.

Menurut Giancoli (2001), konveksi dan konduksi memerlukan adanya materi sebagai medium untuk membawa kalor dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin. Tetapi jenis ketiga dari transfer kalor terjadi tanpa medium apapun, yaitu radiasi. Semua kehidupan di dunia ini bergantung dari energi yang ditransfer dari Matahari, dan energi ini ditransfer ke bumi melalui ruang yang hampa. Bentuk transfer energi ini dalam kalor karena temperatur Matahari jauh lebih besar (6000K) dari bumi.

Menurut Tipler (1998), energi radiasi, dipancarkan dan diserap oleh benda-benda dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi ini bergerak lewat ruang dengan kecepatan cahaya. Radiasi panas, gelombang cahaya, gelombang radio, gelombang televisi, dan sinar-X semuanya adalah bentuk radiasi elektromagnetik yang berbeda hanya dalam panjang gelombang dan frekuensinya. Semua benda memancarkan dan menyerap radiasi elektromagnetik. Bila benda ada dalam kesetimbangan panas dengan sekitarnya, maka benda meradiasi keluar lebih banyak energi daripada yang diserapnya, dengan demikian benda menjadi lebih dingin sementara sekitarnya menjadi lebih panas.

Mekanisme ketiga untuk transfer energi panas adalah radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Laju radiasi energi panas suatu benda sebanding dengan luas benda dan dengan pangkat empat temperatur absolutnya. Hasil ini ditemukan secara empiris oleh Josef Stefan pada 1879 dan diturunkan secara teoritis oleh Ludwig Boltzmann kira-kira lima tahun kemudian, sehingga dinamakan hukum Stefan Boltzmann, dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$P = e \sigma . A . T^4 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:  $P$  = Daya yang diradiasikan (W).

$e$  = Emesivitas (0 sampai 1)

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ ).

$A$  = Luas permukaan ( $\text{m}^2$ ).

$T$  = Suhu (K).

Bila radiasi jatuh pada benda tak tembus cahaya, sebagian radiasi direfleksikan dan sebagian diserap. Benda-benda berwarna terang memantulkan sebagian besar radiasi nampak, sedangkan benda-benda gelap menyerap sebagian besar daripadanya.

Sebuah benda yang menyerap semua radiasi yang datang padanya mempunyai emisivitas sama dengan 1 dan dinamakan benda hitam. Sebuah benda hitam juga merupakan radiator ideal. Konsep benda hitam ideal adalah penting karena ciri radiasi yang dipancarkan oleh benda semacam itu dapat dihitung secara teoritis. Bahan-bahan seperti beludru hitam mendekati sebagian benda hitam ideal.

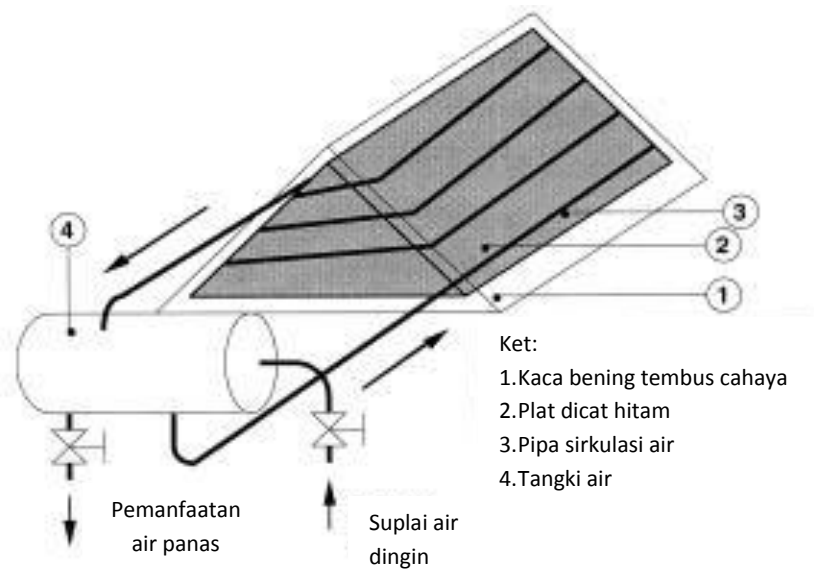
### **2.3. Jenis-jenis Kolektor**

Beberapa jenis kolektor yang pernah dirancang adalah kolektor surya tipe prisma, kolektor surya tipe semisilindris dan kolektor surya plat datar.

Kolektor–kolektor tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

#### **2.3.1. Kolektor surya tipe prisma**

Penelitian tentang kolektor surya tipe prisma pernah dilakukan oleh Kristanto (2000). Keunggulan dari kolektor surya tipe prisma ini adalah kemampuannya untuk dapat menerima energi radiasi Matahari dari segala posisi. Kolektor surya tipe prisma dapat digolongkan dalam kolektor plat datar dengan permukaan kolektor berbentuk prisma yang tersusun dari 4 bidang yang membentuk prisma, 2 bidang berbentuk segi-tiga sama kaki dan 2 bidang yang lain berbentuk segi-empat siku-siku. Penelitian yang dilakukan oleh Kristanto menghasilkan kesimpulan yaitu, pertama, dalam pemanfaatan kolektor surya, energi berguna aktual yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air sangat tergantung pada intensitas radiasi lokasi setempat yang datang pada permukaan kolektor. Kedua, untuk mengoptimalkan efisiensi dari kolektor tergantung pada posisi kolektor yang berkaitan dengan arah radiasi langsung yang jatuh ke permukaan kolektor disamping menghindari adanya hambatan yang menghalangi jatuhnya radiasi langsung ke permukaan kolektor. Kolektor surya tipe prisma dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kolektor surya tipe prismatic.

### 2.3.2. Kolektor surya tipe semisilindris

Penelitian kolektor surya tipe semi silindris pernah dilakukan oleh Syahri (2011) dengan judul ” Rancang Bangun Sistem Desalinasi Energi Surya Menggunakan Absorber Bentuk Separo Elip Melintang”. Penelitian yang dilakukan oleh Syahri menghasilkan kesimpulan yaitu rancang bangun kolektor surya dengan penggantian plat absorber dari plat datar menjadi plat gelombang (setengah elips) akan meningkatkan efisiensi kolektor surya dengan cara memperbesar luasan penyerapan efektif dan meminimalkan kehilangan energi panas akibat pantulan keluar dari kolektor surya.

Penelitian kolektor surya tipe semi silindris juga pernah dilakukan oleh Burhan, dkk (2012) dengan judul ” Pemanfaatan Kolektor Surya Pemanas Air dengan Menggunakan Seng Bekas Sebagai Absorber untuk Mereduksi Pemakaian Bahan



Bakar Minyak Rumah Tangga”. Penelitian yang dilakukan oleh M. Burhan, dkk menghasilkan kesimpulan yaitu: Desain kolektor yang optimal didapatkan pada penggunaan tebal kaca 5 mm dan jarak absorber ke kaca penutup 30 mm. Desain ini menghasilkan efisiensi rerata tertinggi sebesar 79,6% dibanding lainnya. Penggunaan kolektor dengan desain tersebut lebih optimal dalam mempercepat proses pendidihan air. Bahan bakar yang dapat direduksi rata-rata 52,32%. Luas permukaan kolektor adalah 1,2 m<sup>2</sup> dengan kapasitas 18 liter/jam. Kolektor ini dapat dimanfaatkan sebagai *pre-heater* air bagi kebutuhan rumah tangga.

### **2.3.3. Kolektor surya tipe plat datar**

Penelitian tentang kolektor surya plat datar pernah diteliti oleh Burhanuddin (2005) dengan judul “Karakteristik Kolektor Surya Plat Datar Dengan Variasi Jarak Penutup “. Penelitian yang dilakukan oleh Burhanuddin menghasilkan tiga kesimpulan yaitu: Pertama, pada ketiga variasi jarak plat penyerap dengan kaca transparan, didapatkan nilai perbedaan temperatur input-output tertinggi pada jarak 3 cm dan terendah pada jarak 9 cm, dan plat penyerap akan menyerap radiasi Matahari secara maksimal jika posisi plat tersebut tegak lurus dengan arah datang radiasi Matahari. Kedua, kemiringan kolektor surya semakin mendekati sudut zenit maka perbedaan temperatur input-output semakin besar, dan ketiga, efisiensi termal bergantung dari intensitas Matahari, temperatur masukan, temperatur keluaran, dan aliran udara efisiensi termal.

Penelitian tentang kolektor surya plat datar juga pernah diteliti oleh Tirtoatmodjo (1999) dengan judul “Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup“. Penelitian yang dilakukan oleh

Tirtoatmodjo menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu: Secara umum dapat dikatakan bahwa penggunaan kolektor dengan dua buah kaca penutup adalah lebih baik dari pada hanya menggunakan sebuah kaca penutup saja. Perbedaan suhu yang dicapai dengan percobaan dengan dua buah kaca penutup untuk intensitas cahaya total antara 447 hingga 711 Watt/m<sup>2</sup> adalah 25°C hingga 42°C sedangkan kolektor dengan sebuah kaca penutup yang menerima intensitas cahaya mulai dari 419 hingga 741 Watt/m<sup>2</sup> hanya memiliki perbedaan suhu antar 15°C hingga 28°C saja. Secara umum dapat dikatakan pula bahwa penggunaan kolektor dengan dua buah kaca penutup adalah lebih efektif pada intensitas cahaya yang relatif tinggi, dalam percobaan ini jika di atas 600 Watt/m<sup>2</sup>.

Wirawan dan Sutanto (2011) pernah meneliti kolektor surya plat datar dengan judul “Analisa Laju Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya Tipe Plat Datar Dengan Absorber Pasir”. Penelitian yang dilakukan oleh Wirawan dan Sutanto menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu: Pertama, kalor yang diserap oleh air pada kolektor surya absorber plat aluminium lebih besar dibandingkan dengan kolektor surya absorber pasir. Kedua, semakin besar debit aliran air yang mengalir dalam kolektor maka kalor yang diserap oleh air semakin besar karena meningkatnya laju aliran massa air. Ketiga, kerugian kalor yang dialami oleh kolektor surya absorber plat aluminium lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor surya absorber pasir.

Sudia (2010) melakukan penelitian kolektor surya plat datar dengan judul “Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Menggunakan Konsentrator Dua Cermin Datar”. Penelitian yang dilakukan oleh Wirawan menghasilkan beberapa kesimpulan

yaitu: Pertama, penggunaan konsentrator dua cermin datar dapat meningkatkan fluks kalor yang diserap absorber. Fluks kalor yang diserap absorber menggunakan cermin ( $S_{rata-rata}$ ) = 556,05 Watt, sedangkan tanpa cermin  $S_{rata-rata}$  = 425,52 Watt. Kedua, penggunaan konsentrator dua cermin datar dapat meningkatkan energi berguna ( $q_u$ ) kolektor, untuk kolektor yang menggunakan cermin  $q_{u,rata-rata}$  = 495,4 Watt, kolektor tanpa cermin  $q_{u,rata-rata}$  = 290,4 Watt. Ketiga, penggunaan konsentrator dua cermin datar dapat meningkatkan efisiensi kolektor, untuk kolektor yang menggunakan cermin  $\eta_d$  = 51,8 %, sedangkan kolektor tanpa cermin  $\eta_d$  = 29,7 %.

Sucipta, dkk (2010) melakukan penelitian kolektor surya plat datar dengan judul “Analisis Performa Kolektor Surya Plat Bersirip Dengan Variasi Luasan Permukaan Sirip”. Penelitian yang dilakukan oleh Sucipta, dkk menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu: Pertama, untuk ketiga variasi luasan permukaan sirip yang diuji pada laju aliran massa yang sama diperoleh temperatur udara keluaran kolektor untuk kolektor dengan aliran udara di atas plat penyerap lebih tinggi dibandingkan temperatur udara keluar kolektor dengan aliran udara di bawah plat penyerap. Kedua, kolektor dengan aliran udara di atas plat penyerap menghasilkan energi berguna lebih besar dibandingkan kolektor dengan aliran udara di bawah plat penyerap, untuk ketiga variasi luasan permukaan sirip.

Kolektor surya tipe plat datar paling banyak menggunakan sistem termosifon karena penggunaannya lebih mudah dan lebih sederhana. Kolektor surya tipe plat datar dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kolektor surya tipe plat datar.

Sistem termosifon merupakan sistem yang paling banyak digunakan pada saat ini, beberapa faktor yang mendukung sistem ini antara lain:

1. Ekonomis, karena instalasinya tidak memerlukan pompa tapi menggunakan sistem perbedaan densitas pada suhu panas dan pada suhu dingin, sehingga air yang panas akan bergerak ke atas dan air yang dingin akan mengisi ruang yang ditinggalkan air panas.
2. Sistem perpindahan yang alamiah.
3. Sistemnya sederhana.

#### **2.4. Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya**

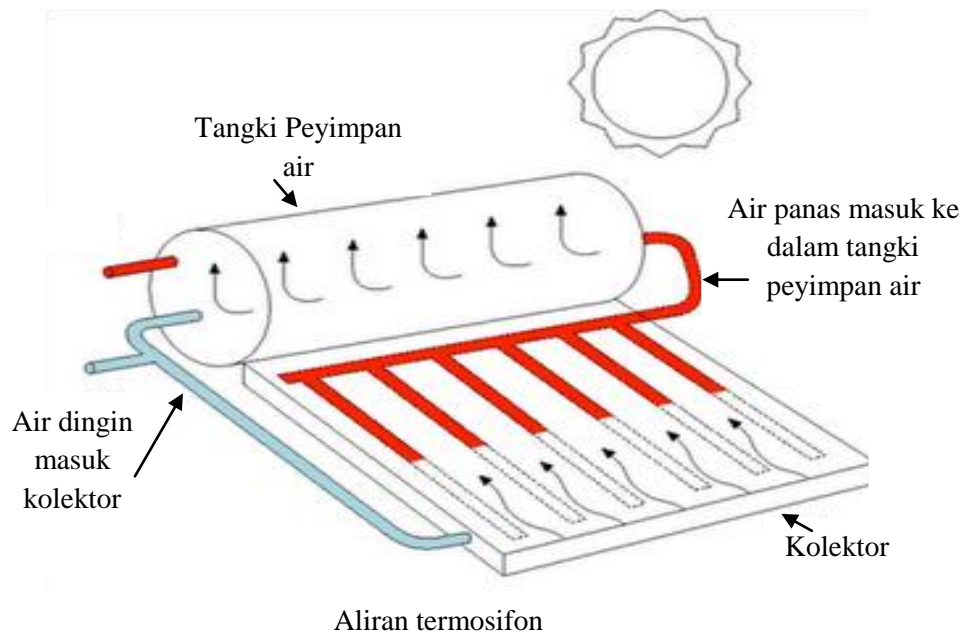
Ada tiga mekanisme dasar untuk menganalisis perpindahan panas pada kolektor ini, yaitu mekanisme konduksi, konveksi dan radiasi. Suatu gambaran mengenai tiga cara perpindahan panas dalam sebuah alat pemanas surya dapat dijelaskan sebagai panas mengalir secara radiasi saat sinar Matahari menembus kaca dan mengenai pipa *absorber*, sedangkan secara konduksi sepanjang plat penyerap dan melalui dinding luar masuk ke permukaan dinding dalam saluran. Kemudian panas dari dinding dalam dipindahkan ke fluida dalam saluran dengan cara

konveksi alami. Perpindahan panas pada kolektor surya dengan cara konveksi alamiah sama dengan sistem termosifon.

Kekhususan cara kerja sistem termosifon terletak pada sistem kerja dan konstruksinya. Sistem ini merupakan dasar dari seluruh sistem sirkulasi pemanas air tenaga surya. Sistem termosifon adalah sirkulasi fluida kerja yang terjadi pada sistem tertutup dimana berat jenis fluida yang lebih tinggi berada di bawah dan berat fluida yang lebih ringan berada di atas. Kerja sistem dimulai ketika energi surya mencapai kolektor yang terdiri dari plat alumunium dan pipa *absorber* yang dialiri air. Pada saat inilah terjadi konversi energi panas Matahari menjadi energi panas yang terkumpul pada kolektor. Ketika terpanasi, air akan mengalami perkembangan atau muai volum sehingga berat jenis air yang rendah cenderung akan menempati posisi di atas dibandingkan air yang mempunyai berat jenis yang lebih tinggi. Kecenderungan ini memaksa air untuk bersirkulasi dalam pipa yang telah didesain. Sistem termosifon pada kolektor surya dapat dilihat pada Gambar 3.

## **2.5. Penyimpan Energi Dalam Tangki**

Tangki penyimpanan merupakan bagian yang penting dari sistem pemanas energi Matahari karena merupakan tempat penyimpanan energi panas. Penggunaan air panas ini sering kali tidak bersamaan dengan waktu pemanasan air. Oleh karena itu diperlukan tangki penyimpan air panas agar dapat digunakan pada saat dibutuhkan.



Gambar 3. Sistem termosifon pada kolektor surya.

Energi Matahari dapat disimpan sebagai kalor sensibel yang hanya melibatkan perubahan suhu medium penyimpanan atau sebagai kalor laten yang juga melibatkan perubahan fase medium penyimpanan. Penyimpanan kalor sensibel lebih lazim dipakai. Tangki penyimpanan kalor sensibel dengan media air dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tangki penyimpanan kalor sensibel dengan media air.

Suatu bahan padat yang stabil secara termal dengan kalor jenis yang relatif tinggi dan rapat massa tinggi dapat digunakan untuk menyimpan kalor sensibel. Kalor

jenis rapat massa yang tinggi diperlukan untuk mengecilkan volume penyimpanan. Kalor yang disimpan dapat dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$E = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:  $E$  = Kalor yang tersimpan dalam air (J).

$m$  = Massa air yang disimpan (kg).

$C_p$  = Kapasitas panas spesifik air ( $4187 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ).

$\Delta T = T_{akhir} - T_{awal}$  ( $\text{°C}$ ).

Kapasitas penyimpanan optimum tergantung pemakaian. Jika kapasitas terlampau kecil, maka sebagian energi yang telah terkumpul akan terbuang sia-sia. Dengan demikian luas permukaan kolektor kurang termanfaatkan atau kurang optimal. Akan tetapi bila terjadi sebaliknya yaitu terlalu banyak air yang akan dipanaskan maka tidak tercapainya suhu yang diharapkan. Rumus-rumus yang akan digunakan dalam menghitung energi dalam tangki adalah sebagai berikut ini:

$$\Delta T = T_{akhir} - T_{awal} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$T_{Av} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$E_p = I_{bt} \cdot A_k \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$E_{in} = A_k \cdot I_{bt} \cdot \epsilon_{kaca} \cdot \epsilon_{tembaga} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$E_{inL} = E_{in} \cdot \eta_p \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$Q = A_k \cdot I_{bt} \cdot \epsilon_{kaca} \cdot \epsilon_{tembaga} \cdot t \quad \text{atau} \quad Q = E_{in} \cdot t \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$t = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{E_{inL}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:  $E_p$  = Daya potensi kolektor (W).

$E_{in}$  = Daya input pada kolektor (W).

- $E_{in L}$  = Daya yang terserap kolektor (W).  
 $Q$  = Energi yang diserap oleh kolektor (Joule).  
 $\Delta T$  = Beda suhu tangki penyimpanan ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $T_{Av}$  = Suhu rata-rata ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $A_k$  = Luas kolektor ( $\text{m}^2$ ).  
 $T_{awal}$  = Suhu awal ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $T_{akhir}$  = Suhu akhir ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $t$  = Waktu (s).  
 $I_{bT}$  = Intensitas radiasi Matahari ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).  
 $T_1$  = Suhu atas tangki penyimpanan ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $T_2$  = Suhu tengah tangki penyimpanan ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $T_3$  = Suhu bawah tangki penyimpanan ( $^{\circ}\text{C}$ ).  
 $\eta$  = Efisiensi kolektor.  
 $\eta_p$  = Efisiensi kolektor.  
 $m$  = Massa air yang disimpan (kg).  
 $\varepsilon_{kaca}$  = Emisivitas kaca.  
 $\varepsilon_{tembaga}$  = Emisivitas tembaga.  
 $C_p$  = Kapasitas panas spesifik air ( $4187 \text{ J.kg}^{-1}.\text{^{\circ}\text{C}}^{-1}$ ).  
 $\Delta T$  =  $(T_{akhir} - T_{awal})$  suhu dalam tangki penyimpanan ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## 2.6. Efisiensi Kolektor Surya

Efisiensi kolektor surya adalah perbandingan antara energi yang diserap dengan jumlah energi surya yang diterima pada waktu tertentu oleh kolektor surya. Efisiensi kolektor surya dapat dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{m C_p \Delta T}{Q} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:  $\eta$  = Efisiensi kolektor surya.

$Q$  = Energi yang diserap oleh kolektor (Joule).



$m$  = Massa air yang disimpan (kg).

$C_p$  = Kapasitas panas spesifik air ( $4187 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ).

$\Delta T$  = ( $T_{akhir} - T_{awal}$ ) suhu dalam tangki penyimpanan ( $\text{°C}$ ).