

## BAB III

### PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

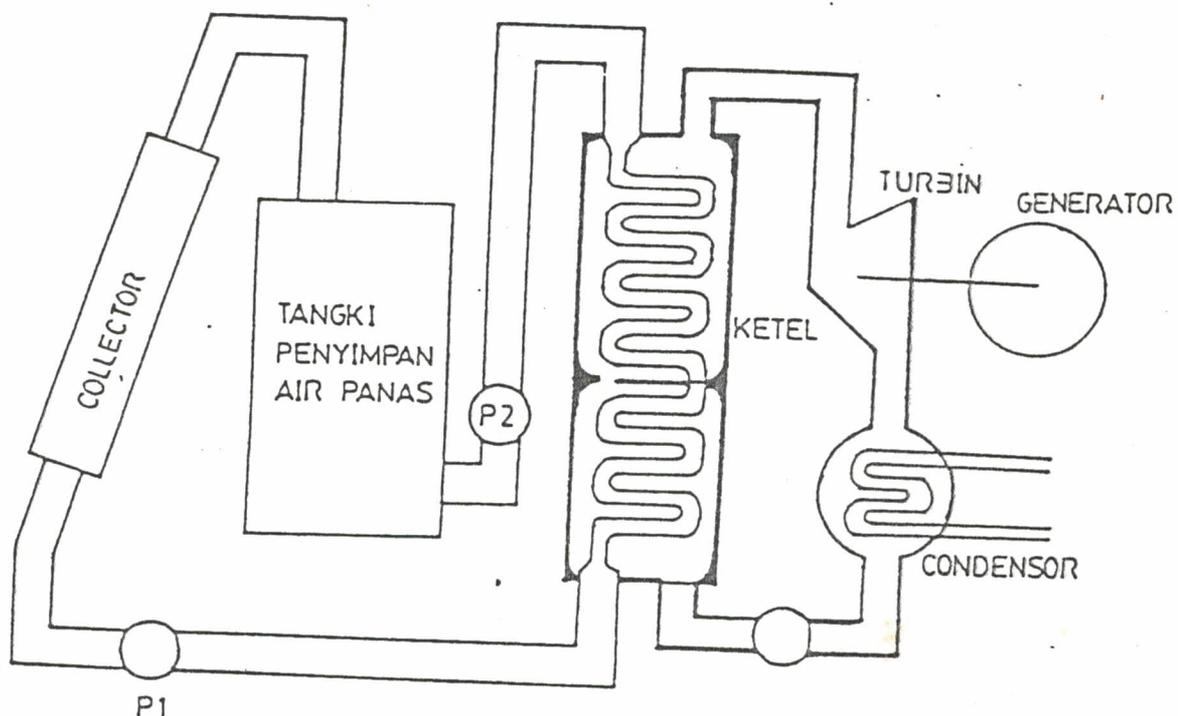
#### A. METODE TAK LANGSUNG

Radiasi matahari yang begitu besar diterima dipermukaan bumi, sehingga cukup untuk mendapatkan kalor yang besar pada pengoperasian pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Metode Tak Langsung. Sebagai contoh PLS Metode Tak Langsung 10 Kw diperlukan Radiasi matahari sebesar 596,9 w/m .

Begitu juga untuk kebutuhan bahan bakar tanpa harus membeli atau mengeluarkan biaya lagi, sehingga dapat menghemat biaya bila dibandingkan dengan pembangkit yang memakai tenaga dari batu bara atau minyak bumi dan untuk jangka waktu panjang akan menguntungkan sekali.

Pada pembangkit listrik tenaga matahari dengan metode tak langsung, generator pembangkit listrik digerakkan dengan menggunakan turbin gas, dimana tenaga gas diperoleh dari pemanasan fluida kerja (working fluid) oleh radiasi matahari. Gambar 3.1 memperlihatkan diagram sistem pembangkit tersebut, dengan pembangkit tenaga gas yang berdasarkan siklus Brayton.

Energi matahari diterima oleh collector yang kemudian diserap oleh air menjadi energi kalor. Energi kalor tersebut dipompa ketangkai penyimpanan air panas (water storage tank) yang melalui pemindahan panas (HE). Kompresor digunakan untuk mengkompresi gas Freon dari pendinginan ke pemindah panas (HE).



*Gambar 3.1*

DIAGRAM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
DENGAN METODE TAK LANGSUNG

#### B. PERLENGKAPAN UTAMA PADA PLTS METODE TAK LANGSUNG

Pada sistem PLTS Metode Tak Langsung terdiri dari beberapa perangkat keras yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.

Dalam sub unit collector terdapat dua macam collector yang digunakan pada sistem PLTS Metode Tak Langsung diantaranya adalah :

- a. Flat Plate Collector
- b. Concentrating Collector

Dalam pokok bahasan ini lebih mudah didapatkan dengan harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan Concentrating collector

a. *Flat Plate Collector.*

Flat plate collector terdiri dari pelat penyerap panas yang terbuat dari logam. Pada plat tersebut terdapat pipa pipa. Pelat logam tersebut dicat hitam agar dapat menyerap panas lebih tinggi. Pada bagian bawah diisolir, sehingga kerugian panas dapat diusahakan sekecil mungkin. Untuk bagian atas ditutup dengan plat yang tembus cahaya (transparant) atau gelas dengan maksud agar radiasi matahari dapat masuk ke collector sedangkan panas aliran yang keluar dari collector dapat dikurangi. Sering kali digunakan dua penutup plat tembus cahaya.

Panas yang diterima oleh fluida yang dialirkan melalui pipa collector. Gambar 3.2. menunjukkan susunan flat plate collector dengan menggunakan dua penutup.

Besarnya energy yang dapat diserap oleh Flat Plate Collector adalah <sup>1)</sup>.

$$Q_u = F_r A_c ; I \alpha \tau - U_c ( T_i - T_\alpha ) \Delta$$

<sup>1)</sup>. Kreit F And Kreider J. F, 'Prinsiples Of Solar Engenering', Hemis Perc Publishing Company, Washington, 1978, p. 216.

dimana :

$Q_u$  adalah energi panas yang diserap oleh fluida persatuan waktu (watt).

$A_c$  adalah luas Collector ( $m^2$ ).

$F_r$  adalah factor pemindahan panas collector

$I$  adalah intensitas radiasi ( $w/m^2$ ).

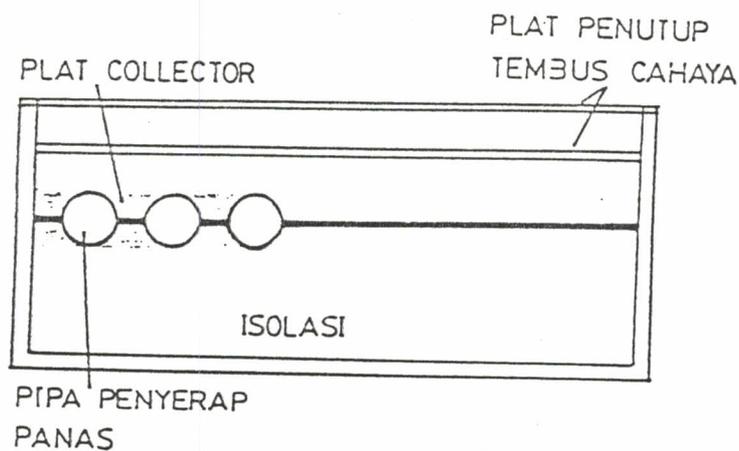
$\tau$  adalah transmitasi surya pada tutup collector.

$\alpha$  adalah koefisien penyerapan surya pada pelat penyerap collector.

$U_c$  adalah koefisien rugi energi total pada collector  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$T_i$  adalah temperature fluida yang masuk ( $^{\circ}K$ ).

$T_{\alpha}$  adalah temperature udara sekeliling ( $^{\circ}K$ ).



Gambar 3.2.

SUSUNAN FLAT PLATE COLLECTOR DENGAN MENGGUNAKAN DUA PLAT PENUTUP.

Untuk menentukan besarnya factor pemindahan panas  $F_r$  dapat ditentukan dengan persamaan <sup>11)</sup> :

$$F_r = \frac{G C_p}{U_c} \left[ 1 - e^{-\frac{U_c F'}{G C_p}} \right] \quad (3.2)$$

dimana :

$G$  adalah aliran masa fluida persatuan luas collector  
(kg/sec.m<sup>2</sup>)

$C_p$  adalah panas jenis fluida (J/kg.°K).

$F'$  adalah factor efisiensi collector.

Sedangkan factor efisiensi plat collector  $F'$  dapat ditentukan dengan persamaan <sup>12)</sup>.

$$F' = \frac{\frac{1}{U_c}}{l \left[ \frac{1}{U_c} \left( D + \sqrt{k \cdot t} \cdot \text{Tanh} \sqrt{\frac{U_c W}{k \cdot t}} \right) + \frac{1}{h_{c_i}} \phi \right]} \quad (3.3)$$

dimana :

$l$  adalah jarak antara pusat pusat pipa (m)

$D$  adalah diameter pipa (m)

$k$  adalah konduktivitas panas pelat collector ((W/m °K)

$2W$  adalah jarak dinding pipa terdekat (m)

$t$  adalah tebal pelat collector (m)

$\phi$  adalah keliling penampang pipa (m)

$h_{c_i}$  adalah koefisien pemindahan panas (W/m<sup>2</sup> °K).

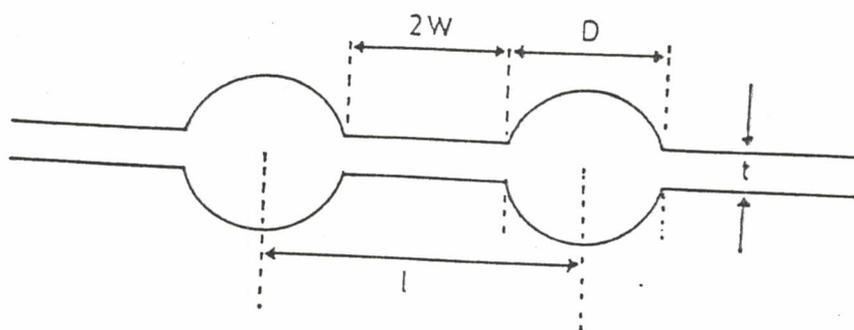
Harga tipical untuk parameter diatas dapat dilihat pada tabel 1.

11). Ibid, p. 216.

12). Ibid, p. 214.

Tabel 1.<sup>13)</sup>  
 Harga Typical Parameter Flat Plate

Besaran	Simbol	Keterangan	Harga Typical
- Koefisien rugi energi total	Uc	- Untuk 2 gelas penutup	4 W/m <sup>2</sup> °K
		- Untuk 1 gelas penutup	8 W/m <sup>2</sup> °K
- Koefisien pe - mindahan panas	hc <sub>i</sub>	- Untuk aliran laminar	300 W/m <sup>2</sup> °K
		- Untuk aliran turbulen	1500 W/m <sup>2</sup> °K
- Hasil kali konduktivitas panas dan tebal pelat.	k.t	- Untuk pelat tenaga dengan t=1mm	0.4 W/m <sup>2</sup> °K
		- Untuk pelat besi dengan t=1mm	0.005 W/m <sup>2</sup> °K



Gambar 3.3  
 SKETSA PELAT COLECTOR

<sup>13)</sup>. Ibid, p. 215.

Untuk menghitung  $\bar{\eta}$  (efisiensi rata-rata collector) diambil harga rata-rata temperatur yang masuk dan keluar sehingga <sup>14)</sup>.

$$\bar{\eta}_c = F' \cdot r \cdot \alpha - F' \cdot U_c \left[ \frac{(T_{in} + T_o)/2 - T_o}{I_c} \right] \quad (3.4)$$

Kenyataan besarnya  $U_c$  tergantung pada temperatur kerja collector dan keadaan cuaca sekelilingnya. Tetapi untuk operasi yang normal, harga  $U_c$  dapat dianggap tetap untuk flat-plate collector, karena hanya terjadi penyimpangan yang tidak berarti.

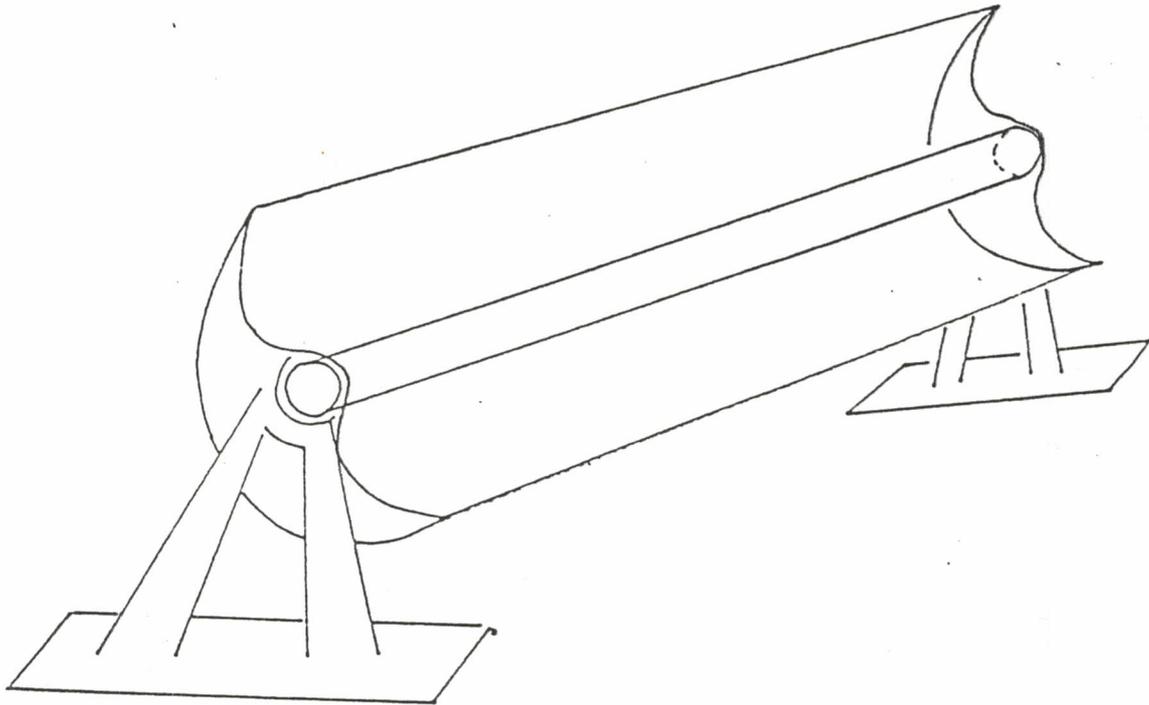
#### *b. Concentrating Collector*

Collector PTC (Parabolic Trough Concentrator) adalah collector yang terdiri dari pipa penyerap energi radiasi matahari dan cermin yang merupakan bidang parabolic.

Kedudukan pipa sedemikian rupa, bila sinar radiasi matahari yang jatuh kepermukaan efektif dari cermin dipantulkan dan difokuskan jatuh kepermukaan pipa penyerap tersebut. Pada collector jenis PTC, posisi cermin dapat diatur (tracking) agar setiap saat dapat menerima energi matahari sebesar mungkin.

Sinar radiasi yang jatuh kepermukaan cermin, kenyataannya tidak seluruhnya dipantulkan dan diserap oleh pipa penyerap. Hal ini disebabkan karena ketidaksempurnaan optik dari material yang digunakan. Intensitas radiasi pada permukaan pipa lebih besar dari pada sebelum difokuskan.

<sup>14)</sup> Ibid. p. 217



GAMBAR 3.4  
COLLECTOR JENIS PTC (PARABOLIC TROUGH CONCEBRATIOR)

C. PEMINDAHAN PANAS DARI COLLECTOR

Panas yang diterima oleh fluida dari collector harus dipindahkan ke tangki penyimpan air panas. Bila kenaikan temperatur yang dikehendaki adalah  $\Delta T$ , maka kecepatan aliran fluida dalam pipa penyerap panas haruslah :

$$V = (4 W \eta I / \eta c \rho \Delta T) (L/D) \dots \dots \dots (3.6)$$

dimana :

V adalah kecepatan aliran fluida .....(cm/dt)

W adalah perbandingan konsentrasi

$\eta$  adalah efisiensi radiasi

I adalah intensitas Radiasi..... $W/cm^2$

c adalah panas jenis fluida..... $J/g^{\circ}C$

$\rho$  adalah kerapatan massa fluida..... $g/cm^3$

L adalah panjang pipa penyerap panas.....cm

D adalah diameter pipa penyerap panas.....cm

$\Delta T$  adalah kenaikan temperatur fluida..... $^{\circ}K$

Besarnya energi panas yang dapat dipindahkan ke fluida adalah :

$$Q = (W \eta I) (LD/V) \dots \dots \dots (3.9)$$

dimana Q adalah panas yang dipindahkan dalam J/dt

Beda tekanan pada ujung-ujung pipa collector adalah

$$\Delta_p = \left( \frac{f V^2 \rho}{2g} \right) (L/P) \quad (3.10)$$

dimana :

$\Delta p$  adalah beda tekanan.....  $g/cm^2$

f adalah koefisien gesekan hidrolik

g adalah percepatan grafitasi.....  $cm/dt^2$

Bila dinding bagian dalam dari pipa penyerap panas licin dan fluida kerja yang digunakan adalah air, maka koefisien gesekan hidraulik  $\pm 3.10^{-2}$

Besarnya daya pompa yang digunakan untuk memindahkan energi dari collector ke dalam tangki penyimpan air panas (hot water storage tank) dalam sistem tertutup adalah :

$$P = \rho V A \left( \frac{V^2}{2g} + \frac{\Delta p}{\rho} \right) \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana :

P adalah daya yang diperlukan .....g cm/dt

A adalah penampang pipa .....cm<sup>2</sup>

Untuk aliran fluida dengan kecepatan tidak begitu besar, maka  $\frac{V^2}{2g} \ll \frac{\Delta p}{\rho}$ , sehingga persamaan (3.11) dapat diperoleh

$$P = A V \Delta p \cdot 10^{-7} \dots\dots\dots(3.12)$$

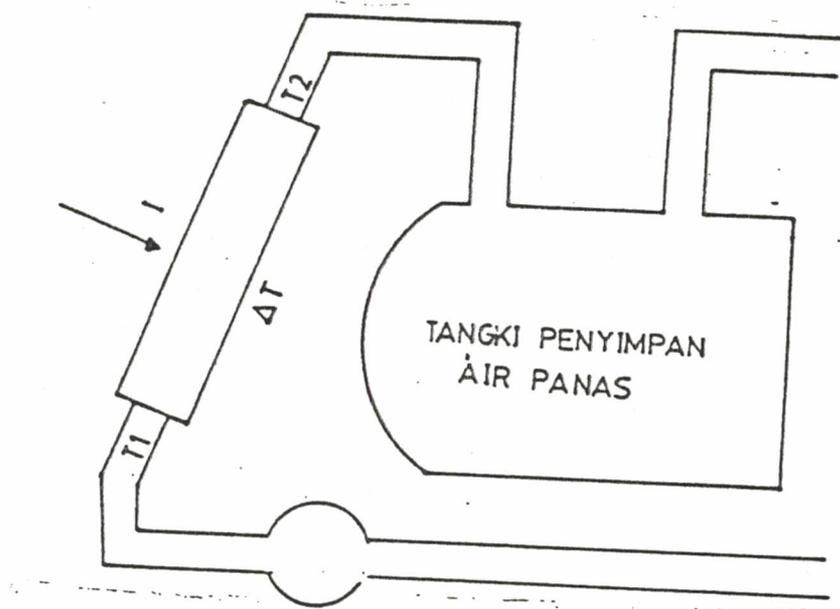
dimana daya yang diperlukan dinyatakan dalam watt.

Bila efisiensi pompa adalah  $\eta_p$  dan efisiensi motor penggerak adalah  $\eta_m$  maka :

$$P_p = P/\eta_p \text{ dan } P_m = P_p/\eta_m = P/\eta_m \eta_p \dots\dots\dots(3.13)$$

Pompa yang digunakan pada pemindahan panas adalah pompa centrifugal, karena pompa jenis ini mempunyai sistem operasi yang sederhana untuk mengatur kecepatan aliran fluida. Pompa jenis centrifugal ini banyak digunakan untuk kecepatan  $3 \cdot 10^{-5}$  sampai  $5 \text{ m}^3/\text{dt}$ , dengan tekanan  $10^3$  sampai  $10^7 \text{ N/m}^2$  <sup>15)</sup>.

15). Kreith F. And Kreider J. F., Op Cit. Hal 95



Gambar 3.5  
SIRKULASI PEMINDAHAN AIR PANAS

#### D. TURBIN GAS.

Pada PLTS metode tak langsung gas yang bersuhu tinggi digunakan untuk memperoleh energi mekanis dan dihubungkan dengan generator. Turbin gas ini merupakan penggerak utama (prime mover) dari Generator, dimana tenaga gas dikonversikan menjadi tenaga kinetis untuk menggerakkan poros generator. Perubahan enthalpi dari gas yang diubah menjadi tenaga kinetis melalui nozle, sehingga kecepatan gas adalah

$$c = 44,72 \sqrt{h_3 - h_4} \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana :

$c$  adalah kecepatan gas (m/dt)

$h_3 - h_4$  adalah penurunan enthalpi gas (kj/kg)

Gas dengan kecepatan  $c$  tersebut membentur sudu-sudu turbin sehingga rotor berputar. Hubungan antara kecepatan gas yang masuk ke sudu-sudu ( $c$ ), kecepatan linier sudu-sudu ( $U$ ) dan kecepatan gas yang keluar ( $v$ ) adalah seperti pada gambar (3.6) Tenaga yang diberikan adalah :

$$W_i = 1/2 m c^2 \dots\dots\dots(3.15)$$

dimana :

$W_i$  adalah tenaga poros turbin (j/dt)

$m$  adalah jumlah gas yang diberikan (kg/dt)

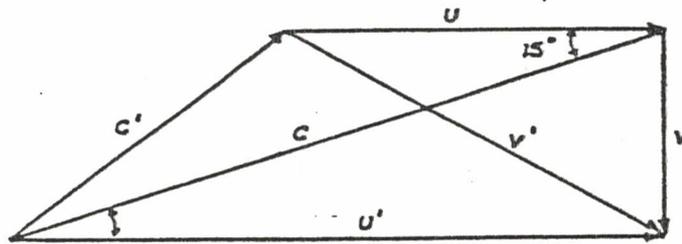
$c$  adalah kecepatan gas (m/dt)

Tenaga poros turbin adalah :

$$W_o = m \cdot U \cdot U' \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana :  $W_o$  adalah tenaga poros turbin (J/dt)

$U'$  adalah komponen kecepatan gas dari  $c$  dan dalam arah gerakan sudu-sudu.



Gambar 3.6

DIAGRAM SEGITIGA KECEPATAN TURBIN GAS

Untuk memperoleh efisiensi maksimum dari sudu-sudu maka kecepatan linier sudu-sudu adalah :

$$U = 1/2 \cdot c \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana :

$\alpha$  adalah sudut nozle

U adalah kecepatan linier sudu-sudu.....(m/dt)

Efisiensi sudu-sudu ( $\eta_s$ ) adalah perbandingan yang digunakan untuk menggerakkan turbin dengan tenaga yang diberikan adalah :

$$\eta_s = \frac{2 \cdot U \cdot U'}{2c} \dots\dots\dots(3.18)$$

Hubungan antara kecepatan sudu-sudu dan putaran poros dari turbin adalah :

$$U = \frac{\eta_{\text{sudu}} \cdot D \cdot n}{60} \dots\dots\dots(3.19)$$

dimana : D adalah diameter sudu-sudu rotor (m)

n adalah putaran turbin (rpm)

#### E. SIKLUS BRAYTON

Siklus Brayton merupakan siklus yang digunakan pada pembangkit tenaga gas yang terdiri dari proses-proses seperti berikut (lihat gambar 3.6)

- 1 - 2 : Proses pemompaan isentropis
- 2 - 3 : Proses pemindahan panas dengan tekanan tetap di dalam ketel

- 3 - 4 : Proses ekspansi isentropis di dalam turbin  
 4 - 1 : Proses pemindahan panas di dalam kondensator

Besarnya energi yang diperlukan untuk mengkompresi fluida dari pendingin ke pemindah panas (HE) adalah :

$$W_c = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana:

$W_c$  adalah kerja yang diperlukan oleh kompresor persatuan massa fluida (kJ/kg)

$h_1$  adalah enthalpy fluida sebelum dikompresi (kJ/kg)

$h_2$  adalah enthalpy fluida setelah dikompresi (kJ/kg)

Panas yang dipindahkan kedalam pemindah panas (HE) dari luar adalah :

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \dots\dots\dots(3.21)$$

dimana :

$Q_{in}$  adalah panas yang dipindahkan kedalam HE persatuan masa fluida .....kJ/kg

$h_3$  adalah enthalpy dari gas yang dihasilkan .....kJ/kg

kerja yang dihasilkan turbin adalah :

$$W_{turbin} = h_3 - h_4 \dots\dots\dots(3.22)$$

dimana :

$W_{turbin}$  adalah kerja yang dihasilkan persatuan massa fluida .....kJ/kg

$h_4$  adalah enthalpy fluida sesudah keluar dari turbin .....kJ/kg

Panas yang dilepaskan oleh fluida dalam pendingin adalah

$$Q_{out} = h_4 - h_1 \dots\dots\dots(3.23)$$

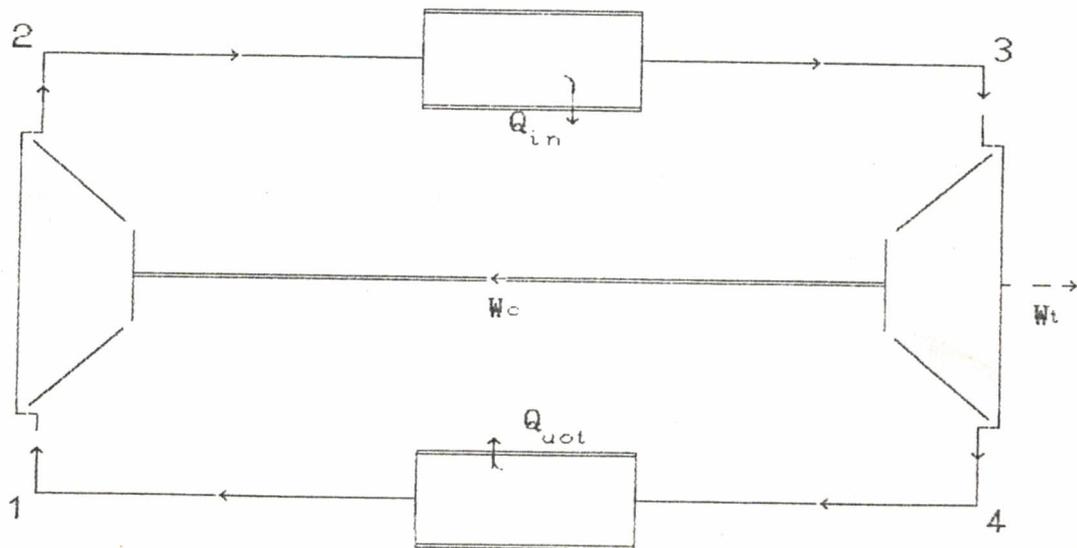
dimana  $Q_{out}$  adalah panas yang dilepaskan persatuan massa fluida .....(J/kg)

Efisiensi termis dari siklus Brayton ( $\eta_R$ ) ini adalah :

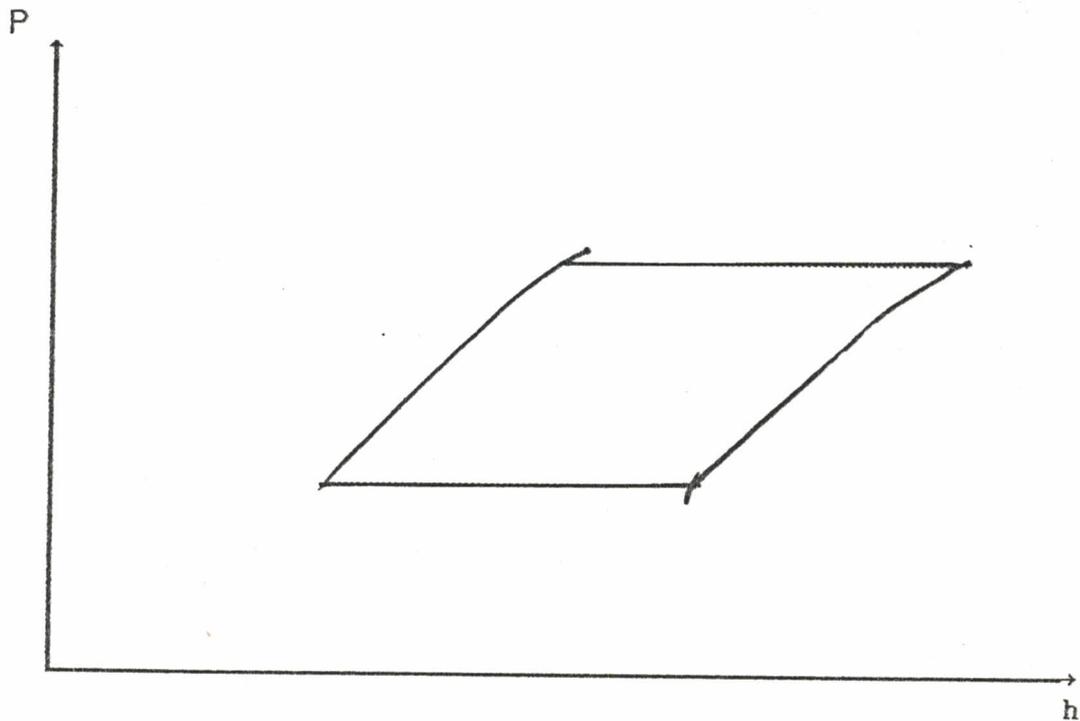
$$\eta_R = \frac{W_{turbin} - W_{kompresor}}{Q_{in}} \dots\dots\dots(3.24)$$

atau

$$\eta_R = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \dots\dots\dots(3.25)$$



Gambar 3.7



*Gambar 3.7.a*  
 DIAGRAM P - H DARI SIKLUS BRAYTON

#### F. GENERATOR

Generator berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari poros turbin menjadi energi listrik . Pada PLTS tak langsung generator yang dipakai sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pada umumnya. Frekuensi dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator pada PLTS tak langsung ini adalah 50 Hz atau 60 Hz dan arus listriknya adalah arus bolak balik (AC) harganya lebih murah, efisiensi tinggi dan keandalanya lebih baik. Pada generator tegangan yang lebih

ruangan untuk penghantar bertambah kecil dan harga generator lebih mahal. Oleh karena itu pilihan terhadap tegangan yang agak rendah memberikan keuntungan dalam perencanaan.

### G. TANGKI PENYIMPAN AIR PANAS

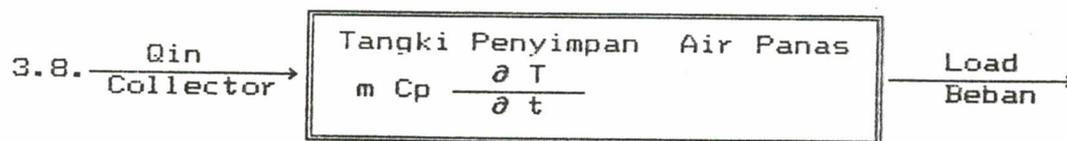
Energi yang diterima oleh collector disimpan kedalam tangki penyimpanan air panas. Dan bila sistem dari pembangkit tersebut digunakan untuk mensupply beban tetap terus menerus, maka hubungan antara energi yang diterima, energi yang disimpan dan energi yang disupply ke beban adalah :

$$m c_p \frac{dT}{dt} = Q_u - L_o \dots \dots \dots (3.32)$$

dimana :

$m$	adalah massa fluida (air) dalam tangki	.....kg
$c_p$	adalah panas jenis fluida (air)	.....J/kg °K
$L_o$	adalah kebutuhan beban termis	.....J/dt

Hubungan tersebut berlaku untuk temperatur kerja dibawah titik didih dari fluida yang digunakan dan rugi - rugi panas akibat kebocoran panas kesekitar tangki diabaikan. Hubungan dari persamaan diterangkan dalam gambar 3.8.



Gambar 3.8

BLOK DIAGRAM ALIRAN PANAS DALAM TANGKI PENYIMPAN AIR PANAS

#### H. PEMINDAH PANAS (HE)

HE adalah tempat untuk pemanasan gas. Dimana HE merupakan besaran energi panas yang dimasukkan persatuan waktu pemindahan panas. Dan besaran tersebut adalah

$$Q_{in} = m_a c_p (T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots(3.26)$$

dimana :

- $Q_{in}$  adalah panas yang dimasukkan .....kJ/dt  
 $m_a$  adalah kecepatan aliran massa air yang membawa panas .....kg/dt  
 $T_{in}$  adalah temperatur air yang masuk .....kJ/dt  
 $T_{out}$  adalah temperatur air setelah keluar dari ketel .....kJ/dt  
 $c_p$  adalah panas jenis air .....kJ/kg°C

sedangkan panas yang diterima oleh uap (freon) adalah:

$$Q = m_g (h_3 - h_2) \dots\dots\dots(3.27)$$

dimana :

- $Q$  adalah panas yang diterima oleh uap .....kW  
 $m_g$  adalah kecepatan gas yang dihasilkan .....kg/dt  
 $h_2$  adalah enthalpy fluida Freon yang masuk HE .....kJ/kg  
 $h_3$  adalah enthalpy fluida Freon dari HE .....kJ/kg