

Analisa Efisiensi *Prototype Solar Collector* Jenis *Parabolic Trough* dengan Menggunakan *Cover Glass Tube* pada Pipa Absorber

Hartamas Ridho Prasetyo

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

ABSTRAK--Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, hanya dapat dikonversikan dari satu bentuk ke bentuk lainnya (Hukum Kekekalan Energi). Energi sangat penting dalam kehidupan sehari – hari khususnya energi listrik yang kebutuhan terhadap energi ini sangat besar sedangkan sebagian besar energi listrik dihasilkan dari sumber daya fosil yang mulai menipis jumlahnya. Ketergantungan akan minyak bumi untuk jangka panjang tidak dapat di pertahankan lebih lama jika pemakaian melebihi batas wajar. Dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan analisa alat *Parabolic Trough Solar Collector* dengan memanfaatkan energi radiasi matahari, yang diawali adanya perancangan desain alat PTSC dengan material yang sudah di tentukan sebelumnya. Prototype tersebut hanya bisa dilakukan pengujian dengan posisi steady state atau diam antara jam 11.30 sampai dengan 12.30 siang. Dengan adanya penelitian tentang analisa performa pada alat tersebut, telah di dapatkan beberapa hasil nilai variabel yang signifikan dan berpengaruh besar dengan nilai performa alat tersebut.

Kata Kunci: Sumber energi, parabolic trough solar collector, parabola

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat setiap tahun seiring dengan kemajuan teknologi. Hal ini karena semakin banyak diciptakan mesin-mesin yang membutuhkan lebih banyak energi dan mulai menggantikan pekerjaan-pekerjaan manusia yang manual dan konvensional. Sumber energi terbagi menjadi dua yaitu sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Bahan bakar fosil adalah salah satu yang tidak dapat diperbarui yang tetap menjadi prioritas utama digunakan sampai saat ini.

Perkembangan teknologi dan energi yang terus diperbarui sampai saat ini telah memanfaatkan energi dari matahari. Matahari merupakan sumber energi bagi seluruh kehidupan di planet Bumi. Jika energi yang tersimpan dalam cahaya matahari di kumpulkan dengan mengkonsentrasi pada suatu titik/garis fokus, maka cahaya yang dipusatkan tersebut akan menghasilkan panas dengan temperatur yang lebih tinggi.

Penggunaan alat *parabolic trough solar collector* ini secara umum terdiri dari perancangan reflektor dan perancangan pipa kolektor surya. Perancangan reflektor meliputi lempengan yang di tekuk berbentuk parabola dan pemilihan material pemantul atau konsentrator berupa material aluminium foil. Sebagai pipa kolektor digunakan pipa tembaga yang telah di cat hitam dan diberikan pelapis pipa kaca berbahan material borosilicate.

Permasalahannya adalah menganalisa secara teoritis efisiensi pada prototype PTSC dengan beberapa faktor berupa nilai temperatur

lingkungan dan fluida, hingga performa. Kemudian membandingkan secara langsung nilai penghitungan saat ini dengan nilai efisiensi sebelumnya yang telah di rancang sebelumnya.

2. METODOLOGI

Langkah–langkah yang digunakan dalam mempelajari proses analisa atau penelitian efisiensi prototype *solar collector type parabolic trough* dengan penambahan cover pipa kaca pada pipa absorber sebagai berikut:

a. Mengetahui Sumber Daya

Sumber daya dasar untuk semua sistem energi surya adalah matahari. Pengetahuan tentang kuantitas dan kualitas energi surya yang tersedia di lokasi tertentu adalah sangat penting untuk desain sistem energi surya. Meskipun radiasi matahari (*insolation*) relatif konstan di luar atmosfer bumi. Pengaruh iklim lokal dapat menyebabkan variasi luas dalam insolation tersedia di permukaan bumi.

b. Persiapan Pemilihan Bahan Material pada Receiver

Persiapan pemilihan bahan material yaitu memfokuskan masalah penelitian secara umum dan terperinci. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui bahan material pipa absorber pada *prototype solar collector* bisa menyerap panas dengan baik, yang akan di analisa dan di teliti lebih lanjut, serta mengasumsikan berapa ukuran yang dibutuhkan hingga bisa menyesuaikan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang akan dihasilkan bagi umat manusia setiap harinya.

c. Input Data

Perancangan kolektor surya dilakukan dengan cara menggunakan software yaitu parabola kalkulator.

- Jenis kolektor surya,
- Ukuran penampang / reflektor *solar collector*,
- Ukuran *receiver*,
- Jenis material yang digunakan sesuai dengan jenis fluida yang dipakai.

3. PERHITUNGAN EFISIENSI PROTOTYPE SOLAR COLLECTOR

3.1 Perhitungan Akibat Gerakan Semu Harian Matahari

a. Perhitungan Sudut Deklinasi

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(284+158)}{365}\right) = 22,74^\circ$$

b. Perhitungan Persamaan Waktu

$$B = \left(\frac{360(158-1)}{365}\right)$$

$$B = 154,85^\circ$$

Maka :

$$E = 229,2\{0,000075 + 0,001868 \cos(154,85^\circ) - 0,032077 \sin(154,85^\circ) - 0,014615 \cos(2 \times 154,85^\circ) - 0,04089 \sin(2 \times 154,85^\circ)\} = 1,576 \text{ menit}$$

c. Perhitungan Waktu Surya

$$\text{Standart Time} = 12:00:00 \text{ AM}$$

$$\text{Solar Time} = \text{Standart Time} + [4(255 - 253) + 1,576] = 12:09:57$$

d. Perhitungan Sudut Jam

$$\omega = 15^\circ (\text{ST} - 12:00:00)$$

$$= 15^\circ (12:09:57 - 12:00:00)$$

$$= 2,48^\circ$$

e. Perhitungan Sudut Zenith

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$$

$$\theta_z = 29,04^\circ$$

f. Perhitungan Sudut Altitude Matahari

$$\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$$

$$= 60,96^\circ$$

g. Perhitungan Sudut Azimuth Matahari

$$\text{Dengan } \sin \gamma_s = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z}$$

$$\gamma_s = 4,715^\circ$$

3.2 Komponen Radiasi Masukan

a. Perhitungan Radiasi Ekstraterrestrial

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos\left(\frac{360^\circ \cdot n}{365^\circ}\right) \cdot \cos \theta_z\right)$$

$$= 1149,12 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

b. Perhitungan Indeks Kecerahan Langit

$$K_T = \frac{G}{G_o}$$

$$= 0,585$$

c. Perhitungan Radiasi Hambur (*Diffuse*)

$$\text{Untuk : } 0,22 \leq K_T \leq 0,80$$

$$G_d = G (0,9511 - 0,1604 K_T$$

$$+ 4,388 K_T^2 - 16,638 K_T^3$$

$$+ 12,336 K_T^4)$$

$$G_d = 317,92 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

d. Perhitungan Radiasi Langsung (*Beam*)

$$G_b = G - G_d$$

$$= 354,56 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

e. Perhitungan Radiasi Masukan

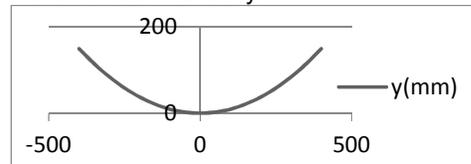
$$G_T = G_b \cdot R_b + G_d \left(\frac{1+\cos \beta}{2}\right) + G_g \cdot \rho_g \left(\frac{1-\cos \beta}{2}\right)$$

$$= 670,480 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

3.3 Perhitungan pada Sistem Parabolic Trough

a. Menentukan Dimensi Parabolic Trough

Untuk menentukan ukuran parabola kita bisa menggunakan parabola kalkulator agar kita bisa mengetahui garis fokal. Program excel digunakan untuk mencari grafik/posisi titik-titik pada parabola dengan menggunakan persamaan parabola $y = 4px^2$ dengan x dan y sebagai posisi titik-titik pada sumbu-x dan sumbu-y.



b. Perhitungan Luas Arperture Area (A_a)

$$A_a = P \times L$$

$$= 0,64 \text{ (m}^2\text{)}$$

c. Perhitungan Luas Pipa Absorber (A_r)

$$A_r = \pi \cdot d \cdot l$$

$$= 0,0367 \text{ (m}^2\text{)}$$

d. Rasio Konsentrasi (Cr)

$$Cr = \frac{A_a}{A_r}$$

$$= 17,4$$

e. Perhitungan Sudut Rim (φ_r)

$$\varphi_r = 2 \tan^{-1} \frac{W_a}{4p}$$

$$= 106^\circ$$

f. Perhitungan Faktor Geometri (A_f)

$$A_f = \frac{\frac{2}{3} W_a h p + p W_a \left(1 + \frac{W_a^2}{48p^2}\right)}{A_a}$$

$$= 0,497$$

3.4 Perhitungan Nilai Energi Netto (q)

Untuk mencari nilai energi radiasi refleksi konzentor bersih total yang akan di terima parabola danakan di pantulkan dengan faktor reflektifitas yang di pengaruhi oleh nilai emitansi material yang di gunakan pada alat PTSC.

a. Energi Berguna

$$\begin{aligned} E_b &= \sigma T^4 \\ &= 5,669 e^{-8} \times 8318169616 \\ &= 471,577 \text{ (W/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

b. Reflektifitas

$$\begin{aligned} \rho &= 1 - \alpha = 1 - \epsilon \\ &= 1 - 0,05 \\ &= 0,95 \end{aligned}$$

c. Radiositas

$$\begin{aligned} J &= \epsilon \cdot E_b + (1 - \epsilon)G \\ &= 660,535 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

d. Energi Radiasi Bersih dari Refleksi Parabola

$$\begin{aligned} q_{net} &= \frac{G - J}{\epsilon \cdot A} \\ &= 310,781 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

3.5 Perhitungan Efisiensi Optik Konzentor (η_o)

$$\begin{aligned} \eta_o &= 0,95 \times 0,96 \times 0,87 \times 0,81[(1 - 0,497 \tan(0^\circ)) \cos(0^\circ)] \\ &= 0,657 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q/A \text{ total} &= A_a \times \eta_o \times q_{net} \\ &= 310,781 \text{ W/m}^2 \text{ Energi bersih} \times 0,657 \times 0,64 \\ &= 130,677 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

3.6 Luas Area Terkonsentrasi Kalor (Ac)

a. Area Selimut Tabung

$$\begin{aligned} 2 \pi r (r + t) \\ &= 32165 \text{ mm} = 32,165 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Area Parabola

$$\begin{aligned} 2 \pi r \\ &= 1,0048 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3.7 Perhitungan Nilai Absorbsivitas Material (α)

a. Suhu Parabola

$$\begin{aligned} q/A \text{ surya radiasi} \cdot \alpha \text{ suhu tinggi} &= \\ &= \alpha \text{ suhu rendah} \cdot \sigma (T^4 - T^4 \text{ Ambient}) \\ &= (31,0781)(0,15) = \\ &= (0,04)(5,669e^{-8})(T^4 - 302^4) \\ T &= 322,21^\circ K = 49,06^\circ C \end{aligned}$$

b. Suhu Pipa Tembaga Telah di Cat Hitam

$$\begin{aligned} q/A \text{ radiasi optik} \cdot \alpha \text{ suhu tinggi} &= \\ &= \alpha \text{ suhu rendah} \cdot \sigma (T^4 - T^4 \text{ Ambient}) \\ &= (130,677) = (0,87)(5,669e^{-8})(T^4 - 302^4) \end{aligned}$$

$$T = 323,61^\circ K = 50,5^\circ C$$

3.8 Desain Thermal / Heat Transfer Collector

a. Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient Terhadap Pipa Absorber

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho u_m D}{\mu} \\ &= 882,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu_d &= (1,86) \left[\frac{(Re)(Pr)(d)}{L} \right]^{1/3} \\ &\times \left[\frac{(\mu \text{ air } 35^\circ C)}{(\mu_w \text{ dinding pipa } 40,3^\circ C)} \right]^{0,14} \\ &= 7,753 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{k \cdot Nu_d}{d} \\ &= 382,16 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C \end{aligned}$$

b. Perhitungan Mencari Nilai Laju Aliran Massa dan Temperatur Suhu Air yang Keluar dari Dalam Pipa

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} u_m \\ &= 6,293 \times 10^{-3} \text{ (kg/s)} \\ q &= h \cdot \pi d l (T_w - \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2}) = m C_p (T_{b1} - T_{b2}) \\ T_{b2} &= \frac{1399,302 - 266,7}{32,223} \\ &= 41,97^\circ C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{b \text{ rata-rata}} &= \frac{41,97 + 35}{2} \\ &= 38,5^\circ C \end{aligned}$$

c. Perhitungan Overall Heat Loss Coefficient / Koefisien Kerugian Panas (U_L)

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho u_m D}{\mu} \\ &= 3312 \\ Nu &= 0,3(Re)^{0,6} \\ &= 154,6 \end{aligned}$$

- Untuk mengetahui h_w kita bisa menggunakan:

$$\begin{aligned} h_w &= Nu \frac{k}{d} \\ &= 322,6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C \end{aligned}$$

- Untuk mengetahui h_r kita bisa menggunakan

$$\begin{aligned} h_r &= \frac{\sigma (T\alpha_1 + T\alpha_2)(T\alpha_1 + T\alpha_2)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \left(\frac{Ac}{Ap}\right) \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \\ &= 4,28 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ C \end{aligned}$$

- Untuk mengetahui U_L kita bisa menggunakan:

$$\begin{aligned} U_L &= h_w \times h_r \\ &= 322,604 \text{ (W/m}^2 \text{ }^\circ C) \end{aligned}$$

3.9 Perhitungan Efisiensi Collector (F')

$$F' = \frac{q/A \text{ total}}{U_L}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,405 \\
 F_r &= \frac{mC_p}{A_f U_L} [1 - e^{-(A_f U_L F' / mC_p)}] \\
 &= 0,152 \\
 q_{u_1} &= F_r \cdot A_c \left[q/a \text{ total} \cdot \eta_o \frac{U_L}{C_r} (T_{fi} - T_a) \right] \\
 &= 0,0973 \left[85,855 \frac{322,603}{17,4} (6) \right] \\
 &= 926,43 \\
 q_{u_2} &= mC_p (T_{fo} - T_{fi}) \\
 &= 91,93 \\
 q_u \text{ Rata - rata} &= \frac{q_{u_1} + q_{u_2}}{2} = \\
 &= 509,17 \text{ (Watt)} \\
 \eta &= \frac{q_u}{G A_c} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

Maka energi yang terpakai q_u adalah 509,17 (Watt).

Dan efisiensinya η adalah $0,75 \times 100 \% = 75 \%$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa secara teoritis maka dapat diambil berberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Lebar parabola 0,8 meter dan panjang parabola adalah 0,8 meter maka titik fokusnya adalah 0.2667 meter dengan bahan *reflector sputtered aluminium foil tape* optikal reflektor yang memiliki tingkat pantulan sebesar 0,95. Sedangkan diameter luar pipa absorber adalah 0,0127 meter dan diameter dalam pipa absorber adalah 0,0127 meter. Dengan bahan pipa absorber tembaga yang dilapisi cat hitam yang memiliki tingkat penyerapan sebesar 0,87 - 0,89.
2. Pipa absorber memiliki *cover glass tube* atau pipa kaca berbahan material borosilicate dan memiliki spesifikasi anti-reflektif dengan nilai transmisivitas sebesar 0,96. Efisiensi energi yang berguna yang diperoleh dari hasil perhitungan secara teoritis *solar collector parabolic trough* yaitu sebesar 509,17 (Watt) dan efisiensi yang didapat adalah 75%.

3. Memperkecil ukuran pipa absorber lebih memungkinkan memperbesar efisiensi alat PTSC menjadi lebih baik di karenakan adanya ruang konsentrasi perpindahan panas lebih kecil dan menjadikan suhu fuida lebih cepat panas.
4. Penentuan ukuran parabola menjadi lebih lebar di dibandingkan dengan pipa absorber yang semakin mengecil dan dapat memperluas ukuran pipa absorber yang tekonsentrasi panas dari sumber kalor. Sangat mempengaruhi nilai energi menjadi lebih baik dan kehilangan panas menjadi lebih sedikit.
5. Semakin luas parabola yang terkonsentrasi semakin baiklah yang akan memberikan jumlah refleksi cahaya dan menjadikan perpindahan kalor radiasi ke arah pipa penerima dan absorber semakin jauh lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Beckman, William A. dan John A. Duffie. "Solar Engineering of Thermal Processes". (1980). Second Edition, Inc. United States of America.
- [2]. Febriyan, Ridho. "Perancangan Solar Thermal Collector Tipe Parabolic Trough", *Tugas Akhir*, (2013). Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
- [3]. Holman, J.P., *Perpindahan Kalor*, diterjemahkan oleh Jasfi E., (1995). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4]. ASHRAE Standard. *Methods of Testing to Determine the Thermal Performace of Solar Collector*, (1980-1989). American Society of Heating, Refrigeration, And Air Conditioning Engineers.