



STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH DERAJAT KEVAKUMAN ANTARA PENUTUP KACA DENGAN ABSORBER PADA PEMANAS AIR TENAGA SURYA PELAT ABSORBER TIPE SINUSOIDAL

Royyan Firdaus¹, Djatmiko Ichسانی²

¹ Teknik Mesin Untag Surabaya

² Teknik Mesin ITS Surabaya

email: (royyanf@untag-sby.ac.id)

ABSTRAK

Di era sekarang, krisis energi menjadi sorotan karena banyak dari kita sangat mengandalkan energi fosil seperti bahan bakar minyak dan gas, sehingga apabila sumber bahan bakar habis maka segala proses kehidupan juga akan berhenti. Oleh sebab itu perlu adanya pergeseran sumber energi terbarukan yang salah satunya yaitu memanfaatkan energi matahari. Dalam jurnal ini penulis ingin meneliti bagaimana menganalisa dan membuat pemanas air tenaga surya yang efektif dan efisien sehingga dapat dimanfaatkan secara luas oleh banyak orang sebagai alat pemanas air, akan tetapi masih terdapat kekurangan dalam memaksimalkan energi matahari tersebut. Itu semua tergantung rancangan dan analisa alat. Melalui jurnal-jurnal yang pernah ada, peneliti mengambil aspek penting yang perlu untuk di telaah yaitu dengan variasi tingkat kevakuman. Untuk tingkat kevakuman sendiri adalah -40 cm.Hg, -60 cm.Hg, dan -80 cm.Hg. Dengan pemvariasian tingkat kevacuman di antara pelat absorber dan kaca penutup, diharapkan dapat memperkecil koefisien kehilangan, temperatur absorber naik, dan temperatur kaca penutup turun. Sehingga dapat meningkatkan performansi dan efisiensi kolektor.

Kata kunci: *energi matahari, alternatif, sinusoidal absorber, kolektor efektif*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan pelat absorber berbentuk gelombang pada kolektor surya pemanas air ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan pada solar kolektor pelat datar dengan tube. Pada kolektor surya ini radiasi matahari yang diserap oleh pelat absorber akan langsung ditransfer ke air. Selain itu dengan dimensi kolektor yang sama, pelat absorber gelombang mempunyai luasan penyerapan panas lebih besar. Penggunaan pelat gelombang sebagai pelat absorber dapat meningkatkan absorpsivitas karena selain menerima radiasi matahari langsung, juga menerima pantulan dari pelat gelombang

disebelahnya. Dengan demikian diharapkan pelat absorber mempunyai performansi yang baik dan layak digunakan sebagai pelat absorber untuk pemanas air.

Kehilangan panas melalui bagian atas kolektor surya merupakan bagian dari rugi-rugi panas terbesar. Dengan mengurangi kehilangan panas dari bagian atas kolektor akan meningkatkan efisiensi kolektor. Untuk itu perlu dilakukan penelitian bagaimana cara mengurangi kehilangan panas tersebut.

Dari latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan yang muncul dalam proses merancang solar collector yaitu bagaimana pengaruh tingkat

kevakuman udara antara plat absorber dengan kaca penutup terhadap koefisien konveksi, menghitung koefisien kehilangan panas total yang terjadi antara plat absorber dengan kaca penutup, serta pengaruh tingkat kevakuman terhadap efisiensi dan performansi dari solar kolektor tersebut.

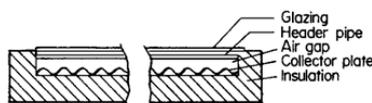
Pembuatan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat kevakuman terhadap energi berguna yang dihasilkan kolektor surya dan tingkat keadaan parameter-parameter yang dapat menghasilkan performansi terbaik dari solar kolektor.

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan agar kedepannya sistem pemanas air menjadi lebih baik serta mengurangi ketergantungan terhadap listrik/gas yang tidak ramah lingkungan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian ini dibuat berdasarkan data dan saran dari penelitian terdahulu terkait penggunaan plat gelombang sebagai absorber pada kolektor surya dengan studi analitik untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Beberapa penelitian yang mendukung penelitian ini diantaranya adalah Robert L.San Martin dan Gary J. Fjeld (1975)^[1] melakukan penelitian secara eksperimen dengan membandingkan tiga buah kolektor, diantaranya:

1. Trickle Collector



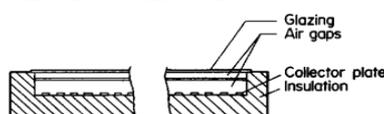
Gambar 2.1 Trickle Collector

2. Thermal Trap collector



Gambar 2.2 Thermal Trap collector

3. Standard Collector



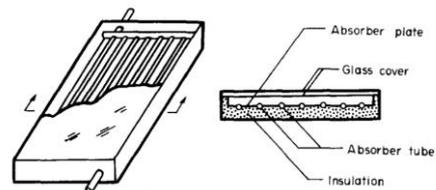
Gambar 2.3 Standard Collector

Ketiga kolektor diatas mempunyai ukuran berturut-turut 15,33 ft³, 8,16 ft³, dan 17,33 ft³. Masing-masing kolektor diisolasi diatas menggunakan plat absorber dari aluminium. Dari hasil eksperimen tersebut diketahui bahwa Trickle Collector mempunyai efisiensi 35,2%, Thermal trap collector 57%, dan standard collector 62,4%.

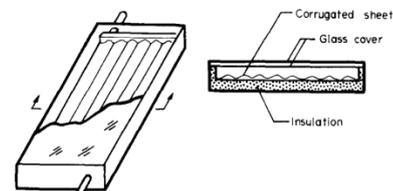
Peneliti lain, Wang Shing An (1979)^[2], menganalisa perpindahan panas dan melakukan pengujian dengan menggunakan kolektor plat absorber gelombang dari baja dengan ketebalan 0,8 mm, untuk mengurangi kehilangan panas di atas menggunakan cover ganda, di mana luasan pelat absorber 1,57 m² dengan kapasitas air 18,25 kg. Dari eksperimen ini diperoleh persamaan efisiensi kolektor

$$\eta = 0,68 - 7 \frac{(T_c - T_a)}{t} \quad (1)$$

Pada eksperimen ini juga membandingkan antara *double commercial glass cover* ($\tau \cdot \alpha = 0,66$) dengan *double water white glass cover* atau ($\tau \cdot \alpha = 0,66$). Dari eksperimen ini diperoleh bahwa *water white glass cover* menghasilkan efisiensi lebih tinggi yaitu kurang lebih 11%.



Gambar 2.4 Tube and sheet collector



Gambar 2.5 Corrugated sheet collector

Pada pengujian Jong Ho Lee^[3] juga membandingkan antara hasil eksperimen dengan perhitungan secara teoritis pada closed collector. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi dari hasil perhitungan lebih tinggi sekitar 5 sampai 10% dibandingkan dengan efisiensi hasil eksperimen.

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan energi panas dengan bantuan gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas secara radiasi berbeda dengan perpindahan panas secara konveksi maupun konduksi. Radiasi tidak membutuhkan perantara, bahkan radiasi terjadi lebih efektif pada ruang vakum. Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan suatu zat berasal dari energi panas zat yang dipindahkan oleh permukaan tersebut. Besarnya laju perpindahan panas radiasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan suatu permukaan untuk memancarkan energi (ϵ) dan perbedaan temperatur (ΔT). Laju perpindahan panas radiasi dapat dilihat pada persamaan^[4] berikut:

$$q''_{rad} = \sigma \cdot \epsilon_{bahan} (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2)$$

Dimana:

q''_{rad} = fluks panas radiasi (W/m²)

σ = Konstanta Boltzman = $5,67 \times 10^8$ W/m²K⁴

ϵ_{bahan} = Emisivitas bahan, nilainya dari 0 – 1

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_{sur} = Temperatur *surrounding* (K)

Laju perpindahan panas radiasi juga dapat dituliskan dalam bentuk lain, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$q''_{rad} = h_r (T_s - T_{sur}) \quad (3)$$

Dari kedua persamaan di atas, nilai h_r dapat dirumuskan dengan persamaan^[5] berikut:

$$h_r = \sigma \cdot \epsilon_{bahan} (T_s - T_{sur}) (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (4)$$

Dimana:

h_r = Koefisien perpindahan panas radiasi

Laju perpindahan panas radiasi untuk dua plat parallel ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Q''_{rad} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} (T_1^4 - T_{sur}^4) \quad (5)$$

dimana:

ϵ_1 = Emisivitas permukaan bahan 1

ϵ_2 = Emisivitas permukaan bahan 2

Matahari adalah sumber energi bagi kehidupan di bumi. Energi yang dimiliki matahari disebut energi matahari dan diradiasikan hingga mencapai bumi. Matahari mengeluarkan energi radiasi rata-rata sebesar $G_{sc} = 1353$ W/m² setiap saat. Radiasi matahari yang telah sampai kebumi terdiri dari radiasi langsung (*beam Ib*) dan radiasi hamburan (*diffuse Id*), serta radiasi pantulan dari sekitarnya. Radiasi matahari di luar atmosfer (*ekstraterrestrial*) pada bidang horizontal per jam, ditunjukkan dalam persamaan^[6] berikut:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0,33 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cdot \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \cdot \sin \delta \right] \quad (6)$$

dimana :

I_o = radiasi matahari total di (*extraterrestrial*) pada permukaan horizontal tiap satuan jam (MJ/jam).

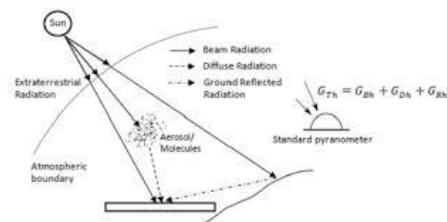
G_{sc} = konstanta matahari = 1353 W/m²

ω_1 = sudut waktu pada saat awal penelitian (°)

ω_2 = sudut waktu setelah penelitian berlangsung 1 jam (°)

Intensitas matahari di daerah *extraterrestrial* tidak seluruhnya diterima oleh bumi. Atmosfer bumi memiliki kemampuan menyerap, meneruskan dan merefleksikan radiasi tersebut.

Pada gambar 2.7 menjelaskan gambaran radiasi yang dipantulkan, diteruskan, dan dipantulkan



Gambar 2.6 Intensitas *beam, diffuse, dan reflected radiation*

Ratio intensitas radiasi lingkungan (I_T) dan intensitas radiasi matahari di extraterrestrial disebut an hourly clearness index k_T . sesuai dengan persamaan^[5] berikut:

$$K_T = \frac{I_d}{I_o} \quad (7)$$

Dimana:

k_T = an hourly clearness index

I_d = intensitas radiasi lingkungan (W/m^2K)

I_o = radiasi matahari total di extraterrestrial (W/m^2K)

Untuk mengetahui besarnya intensitas beam dan intensitas diffuse, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{I_d}{I_o} = \begin{cases} 1,0 - 0,09 k_T & \text{for } k_T \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604 k_T + 4,388 k_T^2 - 16,638 k_T^3 + 12,336 k_T^4 & \text{For } 0,22 \leq k_T \leq 0,8 \\ 0,165 & \text{for } k_T > 0,8 \end{cases} \quad (8)$$

Dari persamaan diatas dapat diperoleh besarnya $I_d + I_b$, dimana: $I_T = I_d + I_b$

Ketika radiasi matahari mengenai pelat absorber gelombang maka radiasi yang diserap (S) akan bervariasi sepanjang sumbu x. besarnya radiasi yang diserap adalah sebagai berikut:

$$S(x) = I_b R_b(x) (\alpha\tau)_d + I_d \cdot \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho_g (I_b + I_d) (\alpha\tau)_g \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (9)$$

Dimana:

S = radiasi yang diserap absorber (W/m^3)

I_b = intensitas beam (W/m^2)

I_d = intensitas diffuse (W/m^2)

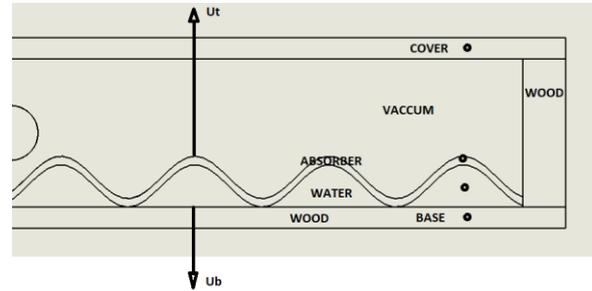
R_b = rasio antara rata-rata radiasi beam pada permukaan miring dan horizontal

$\alpha\tau$ = transmittance absorbtance product

ρ_g = reflected of lass

β = sudut kemiringan kolektor

Perpindahan panas antara pelat datar ke kayu di bagian bawah kolektor seperti pada gambar 2.13. Sedangkan koefisien perpindahan panas antara kayu dengan udara luar diabaikan karena sangat kecil.



Gambar 2.7 Kehilangan panas pada sisi bawah kolektor

Untuk mendapatkan rugi-rugi panas yang terjadi di bagian bawah adalah:

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_z}{k_z} + \frac{L_w}{k_w} + \frac{2}{h_f} \right]} \quad (10)$$

Dimana:

U_b = Rugi-rugi perpindahan panas bagian bawah (W/m^2K)

L_z = ketebalan seng (m)

L_w = ketebalan kayu (m)

k_z = konduktifitas termal seng (W/mK)

k_w = konduktifitas termal kayu (W/mK)

Mekanisme kerugian panas dari pelat absorber dapat dilihat pada Gambar 2.13. Radiasi matahari yang diteruskan kaca kemudian diserap oleh absorber. Panas dari absorber hilang ke atas secara konveksi dan radiasi ke cover. Kemudian dari cover ke udara luar juga secara konveksi dan radiasi. Panas yang di transfer ke bawah absorber menjadi energi berguna untuk memanaskan air. Tetapi disisi lain juga ada kehilangan panas ke bawah kolektor secara konveksi dan konduksi yaitu panas yang menuju ke pelat bawah dan kayu. Sehingga koefisien kerugian panas menyeluruh adalah:

$$U_T = U_t + U_b \quad (11)$$

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

Dimana:

$$R_1'' = \frac{1}{h_{c-a}} + \frac{1}{h_{r,c-a}} \quad (13)$$

$$R_2'' = \frac{1}{h_{p-c}} + \frac{1}{h_{r,p-c}} \quad (14)$$

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_z}{k_z} + \frac{L_w}{k_w} + \frac{2}{h_f} \right]} \quad (15)$$

$$F' = \frac{1/U_L}{w \left[\frac{1}{U_L [D + (w-D)F]} + \frac{1}{\pi \cdot D \cdot h_{f,i}} \right]} \quad (17)$$

Dimana:

U_L = Koefisien kehilangan panas total (W/m²)

W = jarak tiap pitch (m)

D = diameter hidrolis (m)

F = efisiensi fin

$h_{f,i}$ = koefisien konveksi fluida (W/m²K)

Persamaan Faktor aliran kolektor (F'') untuk kolektor surya pemanas air tipe plat sinusoidal dengan aliran dibawah plat absorber adalah sebagai berikut:

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_c \cdot U_L \cdot F'} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{c_p} \right) \right] \quad (18)$$

Dimana:

c_p = panas spesifik fluida (KJ/kg.K)

A_c = luasan Absorber (m²)

\dot{m} = laju aliran masa air (kg/s)

Faktor pelepasan panas (F_R) untuk kolektor surya pemanas air tipe aliran dibawah absorber adalah sebagai berikut:

$$F_R = F' \cdot F'' \quad (19)$$

Energi berupa panas berguna dari kolektor surya pemanas air di bawah absorber adalah sebagai berikut:

$$Q_{u,aktual} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{f,out} - T_{f,in}) \quad (20)$$

Efisiensi kolektor surya pemanas air tipe aliran di bawah plat absorber dengan plat bentuk sinusoidal dijabarkan dalam persamaan di bawah ini :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (21)$$

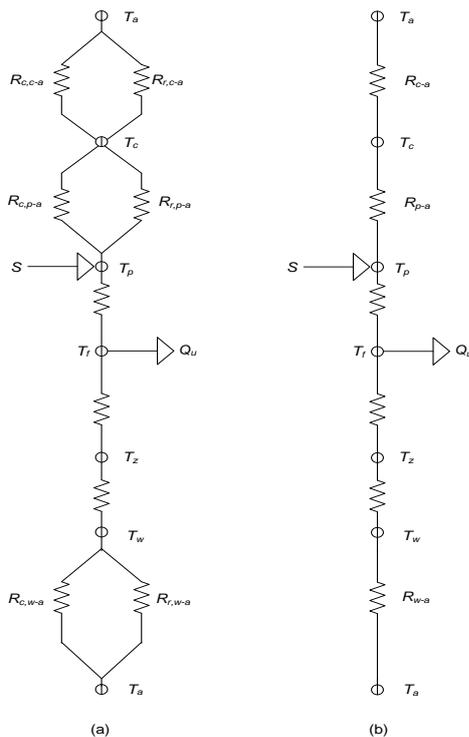
dengan:

η = efisiensi kolektor surya

Q_u = energi berguna (Watt)

3. PROSEDUR EKSPERIMEN

Pada bab III ini membahas metodologi penelitian yang digunakan untuk



Gambar 2.8 Tahanan termal kolektor (a) Detail tahanan termal (b) Tahanan termal gabungan

Untuk menghitung besarnya faktor efisiensi kolektor, terlebih dahulu kolektor surya absorber gelombang ini diasumsikan seperti kolektor surya pemanas air dengan menggunakan tube. Sehingga dapat diperoleh persamaan:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \quad (16)$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)} \quad (17)$$

mendapatkan data. Metode penelitian ini dengan cara eksperimen.

Berikut metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari serta mempelajari beberapa literatur yang terkait dengan tema penelitian, seperti mengumpulkan informasi berupa artikel ilmiah, jurnal, text book, serta hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

2. Eksperimen

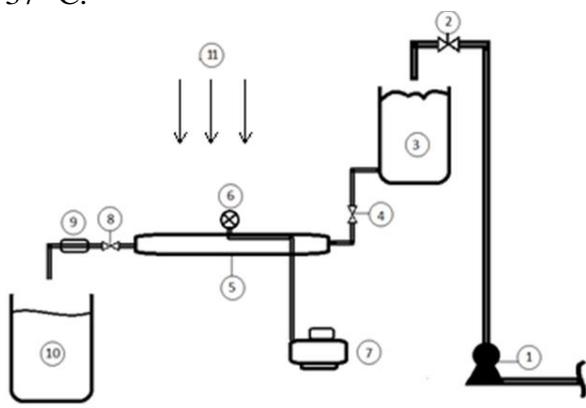
Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data pada sinusoidal solar collector dengan adanya penambahan debit air sebesar 2 Lt/Jam dari 18 Lt/Jam hingga 22 Lt/Jam serta perubahan derajat kevakuman.

3. Pengolahan data

Data hasil eksperimen kemudian di olah untuk mendapatkan nilai efisiensi dan performansi dari solar collector

4. Penyusunan Laporan

Laporan ini tersusun atas pendahuluan, Dasar Teori, Metodologi Penelitian, Pembahasan, dan Kesimpulan. Perancangan hingga pembuatan alat eksperimen kolektor surya ini dilakukan di koordinat 7°16' LU - 112°43' BT/7,267 LS - 112,717° BT dengan suhu udara sekitar 37° C.



Gambar 3.1 Skema instalasi percobaan

Keterangan Gambar:

1. Pompa
2. Keran reservoir
3. Reservoir
4. Keran inlet
5. Solar collector

6. Pressure gauge
7. Vaccum Pump
8. Keran outlet
9. Volumetrik
10. Penampung air

Pada pengujian ini akan dilakukan tiga tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan data, dan tahap akhir. Adapun penjelasan masing-masing tahap akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Tahap persiapan

1. Mempersiapkan dan memastikan peralatan yang dipakai dalam kondisi baik yaitu pompa, *Pyranometer*, *Anemometer*, dan digital *thermometer* dan rangkaian rangkaian listrik yang dibutuhkan.
2. Merangkai peralatan ukur dan peralatan bantu.
3. Mengkalibrasi alat ukur

b. Tahap pengambilan data

1. Pastikan peralatan sudah terpasang sesuai skema peralatan.
2. Hidupkan pompa air
3. Tutup *valve water out*
4. Tunggu sampai *header outlet* dipenuhi dengan air
5. Buka *valve water out*
6. Ukur debit air dengan gelas ukur sampai menunjukkan kondisi *steady state* pada 18 Lt/jam
7. Mengatur pompa vakum pada tingkat vakum dengan pembaca tekanan menggunakan manifold
8. Buka *valve* yang menghubungkan pompa vakum dengan manifold
9. Nyalakan pompa vakum tunggu sampai jarum pada *pressure gauge* pada *manifold* menunjukkan angka - 120 mm.Hg
10. Tutup *valve* pada *manifold*, lihat jarum pada *pressure gauge* apabila sudah menunjukkan angka -120 mmHg ambil data yang diperlukan. Apabila jarum jarum pada *pressure gauge* tidak menunjukkan angka minus 120 mmHg maka ada kemungkinan terjadi kebocoran dan harus di tambal.

11. Ambil data berupa I_T , V_w , T_{fi} , T_{fo} , T_a , T_p
12. Memvariasikan debit air dari 18 lt/jam sampai dengan 22 lt/jam dengan kenaikan sebesar 2 lt/jam
13. Memvariasikan tingkat kevakuman mulai dari 0 mm.Hg sampai dengan minus 120 mm.Hg dengan mengatur *valve* pada *manifold* yang menuju pompa vakum setelah menunjukkan tingkat kevakuman minus 120 mm.Hg tutup *valve* pada manifold. Variasikan tingkat kevakuman sampai dengan tingkat kevakuman sebesar minus 120 mmHg dengan kenaikan sebesar minus 20 mmHg
14. Ulangi langkah 3 sampai dengan 13

- c. Tahap akhir
1. Tutup *valve* air
 2. Matikan pompa air
 3. Matikan semua peralatan listrik
 4. Meletakkan peralatan utama dan alat bantu sesuai tempatnya

$Q_{u,akt}$	η_{akt}	$\eta_{akt\%}$	$(T_{fi}-T_a)/G$	τ_{cg}	α_{abs}	$\tau-\alpha$	FR
171.50	0.48	47.52	0.0014	0.8800	0.90	0.79	0.61
185.42	0.51	50.53	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.57
192.39	0.52	52.43	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.59
210.95	0.57	57.49	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.65
217.90	0.60	60.38	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.68
217.93	0.61	61.41	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.69
217.94	0.61	61.41	0.0014	0.8800	0.90	0.90	0.69

Teoritis			QLoss
$Q_{u,des}$	η_{des}	$\eta_{des\%}$	
173.24	0.480	48.00	187.66
187.29	0.510	51.05	179.62
194.33	0.530	52.96	172.58
213.08	0.581	58.07	153.83
220.11	0.610	60.99	140.79
220.13	0.620	62.03	134.75
220.15	0.620	62.03	134.73

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tabel

Tabel 1. Data Percobaan

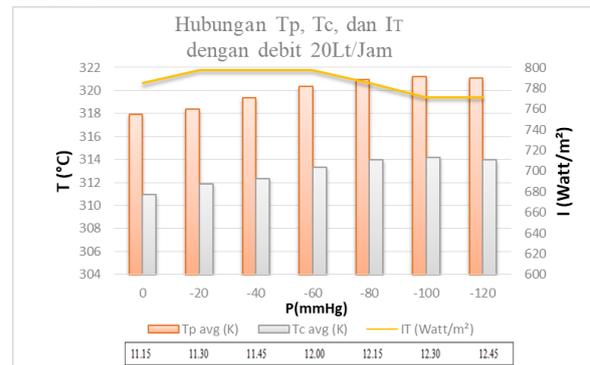
T_{in} (C)	T_{out} (C)	T_b (C)	T_p avg (K)	T_c avg (K)	T_a (K)	T_{in} (K)	T_{out} (K)
33.20	40.60	36.00	317.90	310.95	305.10	306.20	313.60
33.20	41.20	36.20	318.40	311.85	305.10	306.20	314.20
33.20	41.50	36.40	319.35	312.35	305.10	306.20	314.50
33.20	42.30	37.10	320.33	313.30	305.10	306.20	315.30
33.20	42.60	38.60	320.98	314.00	305.10	306.20	315.60
33.20	42.60	38.90	321.23	314.15	305.10	306.20	315.60
33.20	42.60	39.20	321.10	314.00	305.10	306.20	315.60

Tabel 2. Hasil Analisa Data

Aktual	Faktor Pelepasan Panas

4.2 Pembahasan

4.2.1. Pembahasan Grafik Hubungan T_p , T_c , dan I_T



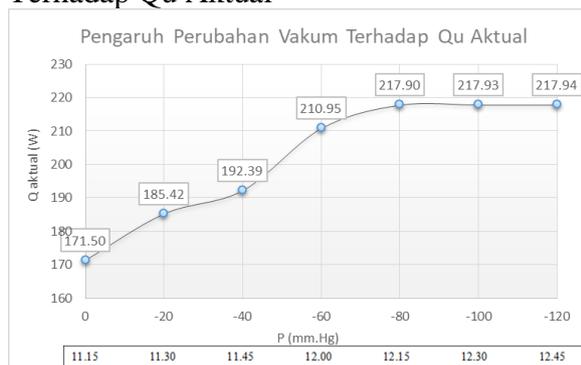
Gambar 4.1 Grafik Hubungan T_p , T_c , dan I_T

Pada gambar 4.2 kita dapat melihat bahwa nilai intensitas radiasi matahari pada pukul 11.15 ($P=0$ mm.Hg) naik dari nilai $I_T = 784,56$ W/m^2 dan kemudian konstan pada pukul 11:30 ($P= -20$ mm.Hg) dengan nilai $I_T = 797,64$ W/m^2 hingga pukul 12.00 ($P= -60$ mm.Hg) dan mengalami penurunan hingga pukul 12.30 ($P= -120$ mm.Hg). Setelah itu konstan hingga pukul 12:45 ($P=120$ mm.Hg). Demikian juga dengan Temperatur *cover* dan

juga *absorber* karena nilainya sebanding dengan Intensitas matahari.

Nilai temperatur terbesar terjadi saat jam menunjukkan pukul 12.30 ($P = -100$ mm.Hg), padahal terjadi penurunan intensitas cahaya waktu itu. Itu dapat terjadi karena panas yang terserap oleh *absorber* lebih besar dan berkurangnya ke atas *cover* yang diakibatkan kenaikan tingkat kevakuman dalam ruang vakum yang itu dapat mengurangi perpindahan kearah atas sehingga nilai temperatur *cover* turun.

4.2.2. Pengaruh Perubahan Vakum Terhadap Q_u Aktual



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Perubahan Vakum Terhadap Q_u Aktual

Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa grafik nilai perpindahan panas aktual ($Q_{u,aktual}$) memiliki tren yang cenderung naik seiring dengan naiknya nilai kevakuman dalam ruang antara *cover* dan *absorber*. Kenaikan efisiensi aktual sesuai dengan rumus.

$$Q_{u,aktual} = \dot{m} \cdot Cp(T_{f,out} - T_{f,in})$$

Semakin besar laju aliran massa maka $Q_{u,aktual}$ pun juga semakin besar, demikian juga dengan perbedaan temperature inlet dan juga outlet maka $Q_{u,aktual}$ juga semakin besar.

Derajat kevakuman memberikan pengaruh pada *losses* perpindahan panas dari *absorber* kearah atas, sehingga perpindahan panas lebih besar digunakan untuk memanaskan air. Semakin kehilangan panas dapat dikurangi maka nilai panas berguna atau efisiensi menjadi lebih besar. Nilai kalor terbesar terjadi pada $P = -120$ mm.Hg yaitu sebesar 217,94 W.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan kajian studi pustaka dari beberapa buku dan jurnal dan dilakukan eksperimen pada kolektor surya dengan variasi tingkat kevakuman. Kemudian dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Setelah itu penulis memberikan kesimpulan mengenai eksperimen ini. Kesimpulan yang dapat disampaikan terhadap kolektor surya dengan variasi terhadap tingkat kevakuman adalah sebagai berikut:

1. Dengan semakin besar tingkat kevakuman pada ruang antara pelat *absorber* dengan *cover*, $Q_{u,teoritis}$ yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai $Q_{u,teoritis}$ terbesar adalah 229,52 Watt kevakuman (-120 mmHg).
2. Semakin besar debit fluida yang mengalir dibawah pelat absorber, maka $Q_{u,aktual}$ yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut juga menyebabkan efisiensi yang didapat juga semakin besar.
3. Efisiensi terbesar terjadi ketika kolektor surya saat berada pada tingkat kevakuman ($P = -120$ mm.Hg) dan pada jam 12.45 WIB ketika intensitas matahari sebesar 771,48 Watt/m² dengan efisiensi teoritis sebesar 65,79%. Sedangkan nilai efisiensi aktual sebesar 65,13%.

REFERENSI

- [1] R.L. San Martin and G.J. Field, 1975, "Experimental performance of three solar collectors", Solar Energy 17, 345-349.
- [2] Wang Shing-An, 1979, "An experimental study of corrugated steel sheet solar water heater", Solar Energy 23, 333-341.
- [3] Lee, J.H., Chung, M & Park, W.H, 1987, "An experimental and theoretical study on the corrugated water-trickle collector".
- [4] Frank P. Incropera dan David P. Dewitt, 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fifth Edition, John Wiley and Sons inc, New York.
- [5] Moran M.J. dan Shapiro H.N., 1996, Fundamental of Engineering

- Thermodunamics, Fourth Edition, John Willey andSons inc, New York.
- [6] Duffie J.A. dan Beckman W.A, 1991, Solar Engineering of Thermal Processe,. Second Edition, John Willey and Sons inc, New York.