

ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA BENTUK SINUSOIDAL

Helen Riupassa¹⁾, Herman Hi. Tjolleng Taba²⁾, Ismail Kolago³⁾

^{1,2)}Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

³⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin

Abstrak

Tujuan penelitian Untuk mengetahui besar pengaruh perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya dengan variasi diameter pipa bentuk sinusoidal.

Metode yang digunakan adalah temperature lingkungan, temperature plat, temperature kaca, temperature pipa, tempetur air awal, temperature, volume akhir. Perpindahan panas konduksi, perpindahan panas perpindahan panas konveksi, radiasi. volume awal air waktu.

Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya dengan variasi diameter pipa bentuk sinusoidal untuk perpindahan panas konduksi untuk pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch mendapat nilai konduksi 238153,463 watt lebih besar dari pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch dan pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch, pada perpindahan panas konveksi pada pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch memperoleh 67472,076 watt lebih besar dari pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch dan pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch, sedangkan perpindahan panas radiasi pada pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch, pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch, pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch yaitu memperoleh perpindahan panas radiasi yang sama sebesar $1,142 \text{ w/m}^2$. Nilai efisiensi panas yang dihasilkan kolektor pemanas surya dengan variasi diameter pipa bentuk sinusoidal pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch menghasilkan efisiensi 55,51 % lebih efisien dari pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch dan pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch.

Kata kunci : *Intensitas Cahaya Matahari, Tenaga Surya Sinusoidal, Konduksi, Konveksi, Radiasi, Pemanas Air.*

1. PENDAHULUAN

Papua adalah salah satu provinsi di Indonesia Timur dan keadaan iklim di Papua sangat dipengaruhi oleh topografi daerah. Pada saat musim panas atau kamarau diantara Asia (bulan maret dan oktober) Australia mengalami musim dingin, sehingga terjadi tekanan udara dari daerah yang tinggi (Australia) ke daerah yang rendah (Asia) melintasi pulau papua sehingga musim kering di papua terutama papua bagian selatan (Merauke). Sedikitnya angin berhembus dari Asia ke Australia (bulan Oktober dan Maret) membawa uap air yang menyebabkan musim hujan, terutama Papua bagian utara dibagian selatan tidak mendapat banyak hujan karena banyak tertampung dibagian utara keadaan iklim di papua termasuk iklim teropis.

Sumber energi terbarukan diperoleh secara gratis adalah energi matahari salah satu energi yang dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia dan penggunaannya salah satunya adalah memanaskan air yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, selain menghemat listrik juga tidak mempunyai efek negative pada lingkungan. Manfaat penggunaan pemanas air adalah lebih mudah mendapatkan air panas untuk mandi. Alat pemanas air tenaga surya lebih hemat karena energi yang digunakan secara langsung dari matahari yang menjadi sumber utama.

Caturwati, N. K., Yuswardi, Y., & Nino, S. (2012). Pemanfaatan energi sinar matahari sebagai sumber energy terbarukan perlu digalakkan dalam rangka menghemat penggunaan sumber energy fosil yang semakin menipis ketersediaannya. Paper ini menyajikan pemanfaatan energy sinar matahari sebagai pemanas air (Solar Water Heater). Metode penelitian dilakukan

Corresponding Author : Helen Riupassa & Herman Hi. Tjolleng Taba, Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Universitas Sains dan Teknologi Jayapura Jln. Raya Sentani Padang Bulan Abepura Jayapura – Papua,
Email : helen_riu@yahoo.com, htjolleng76@gmail.com

berdasarkan eksperimen dengan membandingkan kinerja solar water heater dengan pipa collector dari tembaga dan solar water heater dengan pipa collector tembaga yang diberi pelapis cat berwarna hitam.

Mahendra, I., & Ichsani, D. (2014), Sistem kolektor surya yang dirancang adalah kolektor dengan variasi tingkat kevakuman dan aspect ratio dengan tebal pelat (δ) 1 mm . Untuk tingkat pemvakuman -20 cm.Hg, -40 cm.Hg, dan -60 cm.Hg serta menggunakan aspect ratio 1, 1,33, dan 2. Pengambilan data dilaksanakan dengan memvariasi debit fluida kerja dengan mengatur bukaan katup, yaitu dari 100 cc/menit sampai 300 cc/menits kenaikan 100 cc/menit. 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 efisiensi kolektor. Sehingga kita dapat menyimpulkan bahwa pada tingkat kevacuman -60 cmHg efisiensi yang didapat lebih besar dibandingkan dengan tingkat kevakuman -20 cmHg dan -40 cmHg. Sedangkan untuk aspect ratio 2 memiliki efisiensi terbesar dibandingkan aspect ratio 1 dan 1,33.

Susanto, H., & Irawan, D. (2017). Energi surya yang sampai kepermukaan bumi dapat dikonversi menjadi energi panas dengan menggunakan kolektor surya. Didalam kolektor terdapat beberapa komponen diantaranya pipa pemanas sebagai media untuk mengalirkan air kedalam tangki penyimpanan.

Pada penelitian kami akan melakukan analisa perpindahan panas pada sebuah unit sistem kolektor surya dengan variasi diameter pipa yang berbentuk sinusoidal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan penelitian ini digunakan metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini metode eksperimen dan dengan menghitung perhitungan perpindahan panas secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi dimana untuk mengetahui efisiensi pemanas air berdasarkan variasi diameter pipa.dan menggunakan kajian literatur pustaka.

Disamping itu ada data sekunder yakni data yang berasal dari eksperimen dilaboratorium. Data – data ini kemudian diolah menghasilkan analisa yang berkenaan dengan tujuan penulisan seperti yang telah disebutkan.

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Thermodinamika Program Studi Teknik Mesin universitas sains dan teknologi jayapura di distrik heram kota jayapura. Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu kurang lebih satu bulan.

2.1. Peralatan Penelitian.

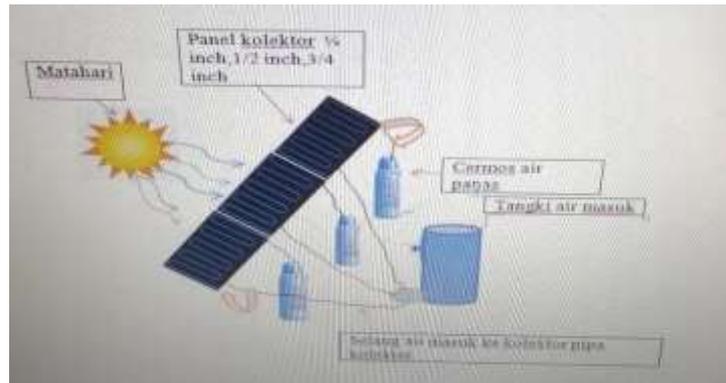
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Solar power meter
2. Thermocopel
3. Thermometer
4. Pipa Tembaga
5. Kaca
6. Plat Aluminium
7. Isolator

Penangkap energi radiasi sinar matahari diperlihatkan seperti Gambar 1, yang terdiri dari beberapa bagian utama antara lain :

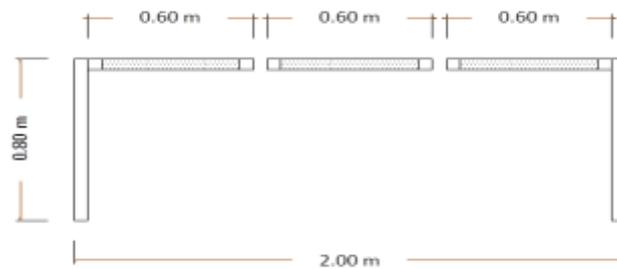
1. Penutup transparan yang bersifat meneruskan/mentransmisikan sinar radiasi yang diterima, mengurangi kerugian panas konveksi serta melindungi pipa-pipa kolektor.
2. Pipa Kolektor: berfungsi sebagai media pemindah panas dari panas radiasi yang diterima ke media air sebagai penyerap energi panas.
3. Sirip Kolektor yang membantu menyerap radiasi sinar matahari dan menghantarkannya ke pipa kolektor, sehingga diperlukan material yang memiliki sifat konduktivitas dan absorpsivitas tinggi serta tahan terhadap temperature tinggi.



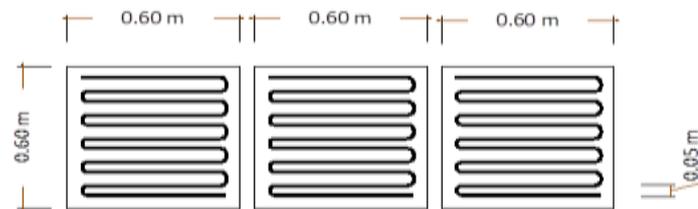


Gambar 1. Skema Pengujian

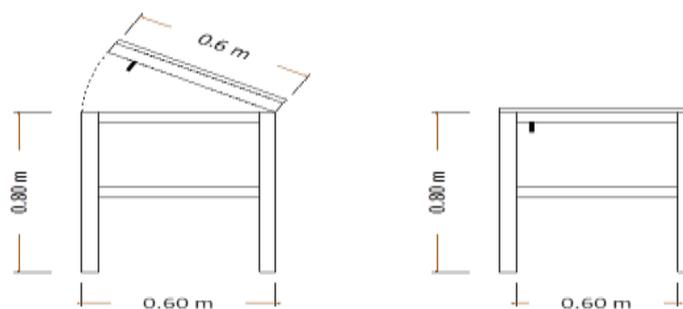
4. Rumah Kolektor yang berfungsi sebagai dudukan semua komponen solar kolektor.W/m.K sehingga kebocoran kalor melalui rumah kolektor cukup rendah.
5. Isolator merupakan bahan yang digunakan untuk mengurangi kebocoran kalor.



Gambar 2. Tampak Depan



Gambar 3. Tampak Atas



Gambar 4. Tampak Samping

2.2. Prosedur penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan.
2. Pembuatan kolektor surya
3. Mengisi air dalam tangki dan memosisikan kolektor menghadap cahaya matahari.
4. Mengatur bukaan katup dan menyesuaikan dengan besar laju aliran yang diperlukan untuk disirkulasikan kedalam kolektor.
5. Mencatat perubahan suhu air pada pipa inlet dan outlet pada thermometer dan data suhunya dicatat setiap 60 menit selama 9 jam
6. Mengukur temperature lingkungan, temperature kaca, temperature plat, temperature air, temperature uap, dan intensitas matahari menurut waktu yang di tentukan.

2.3. Variabel Penelitian

Ada tiga variable yang dikaji dalam penelitian ini yaitu :

1. Variable Bebas (*Independent Variable*) : variabel yang besarnya ditentukan nilainya oleh penelitian sebelum melakukan penelitian yaitu : temperature lingkungan, temperature plat, temperature kaca, temperature pipa, tempetur air awal, temperature, volume akhir.
2. Variabel Terkait (*Dependen Variabel*) : variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh penelitian yaitu : q konduksi, konveksi, radiasi
3. Variabel terkontrol (*Controlled Variabel*) : variabel yang ditentukan oleh peneliti, dan nilai selalu konstan yaitu ; volume awal air waktu.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Hasil Pengujian

Data dari hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1, 3.3.2, dan 3.3.

Tabel 3.1 rata rata pengambilan data ¼ inch

Diameter	Jam	Temperatur (o C)						Intensitas Matahari (W/m ²)	Volume (ml)	
		Ling	Plat	Kaca	Pipa	Air awal	Air akhir		Awal	Akhir
1	09.00	31,8	83,0	40,6	69,1	30,0	53,6	577,0	220,0	124,0
1	10.00	32,4	94,5	40,2	87,5	30,0	55,8	618,6	220,0	270,0
1	11.00	32,8	86,0	40,4	76,3	30,0	56,0	715,0	220,0	230,0
1	12.00	33,8	90,0	40,4	64,8	30,0	66,0	891,6	220,0	200,0
1	13.00	33,0	94,6	42,0	73,2	30,0	71,0	985,8	220,0	240,0
1	14.00	32,6	86,6	41,8	74,2	30,0	61,6	857,8	220,0	158,0
1	15.00	31,6	86,0	39,0	73,1	30,0	56,4	698,6	220,0	120,0
1	16.00	30,6	74,6	35,8	73,6	30,0	47,6	536,4	220,0	84,0
Rata - rata		32,325	86,915	40,025	73,968	30,000	58,500	735,100	1760,000	1426,000

Table 3.2 Rata – Rata Pengambilan Data Pipa ½ inch

Diameter	Jam	Temperatur (o C)						Intensitas Matahari (W/m ²)	Volume (ml)	
		Ling	Plat	Kaca	Pipa	Air awal	Air akhir		Awal	Akhir
1	09.00	31,8	83,0	40,6	69,1	30,0	53,2	577,0	360,0	182,0
1	10.00	32,4	94,5	40,2	87,5	30,0	54,6	618,6	360,0	252,0
1	11.00	32,8	86,0	40,4	76,3	30,0	58,0	715,0	360,0	382,0
1	12.00	33,8	90,0	40,4	64,8	30,0	65,6	891,6	360,0	180,0
1	13.00	33,0	94,6	42,0	73,2	30,0	72,6	985,8	360,0	242,0
1	14.00	32,6	86,6	41,8	74,2	30,0	64,4	857,8	360,0	170,0
1	15.00	31,6	86,0	39,0	73,1	30,0	59,4	698,6	360,0	106,0
1	16.00	30,6	74,6	35,8	73,6	30,0	49,6	536,4	360,0	54,0
Rata - rata		32,325	86,915	40,025	73,968	30,000	59,675	735,100	2880,000	1568,0



Table 3.3 Rata – Rata Pengambilan Data Pipa ¾ inch

Diameter	Jam	Temperatur (o C)						Intensitas Matahari (W/m ²)	Volume (ml)	
		Ling	Plat	Kaca	Pipa	Air awal	Air akhir		Awal	Akhir
1	09.00	31,8	83,0	40,6	69,1	30,0	53,0	577,0	1400,0	106,0
1	10.00	32,4	94,5	40,2	87,5	30,0	56,6	618,6	1400,0	274,0
1	11.00	32,8	86,0	40,4	76,3	30,0	58,0	715,0	1400,0	216,0
1	12.00	33,8	90,0	40,4	64,8	30,0	61,2	891,6	1400,0	232,0
1	13.00	33,0	94,6	42,0	73,2	30,0	64,6	985,8	1400,0	260,0
1	14.00	32,6	86,6	41,8	74,2	30,0	59,4	857,8	1400,0	210,0
1	15.00	31,6	86,0	39,0	73,1	30,0	46,8	698,6	1400,0	152,0
1	16.00	30,6	74,6	35,8	73,6	30,0	35,4	536,4	1400,0	16,0
Rata - rata		32,325	86,915	40,025	73,968	30,000	54,375	735,100	11200,000	1466,0

3.2. Pengolahan Data

Data-data energi pada kolektor surya adalah sebagai berikut :

- P_1 (Panjang Pipa ¼) : 600 cm = 6 m
 P_2 (Panjang Pipa ½) : 600 cm = 6 m
 P_3 (Panjang Pipa ¾) : 600 cm = 6 m
 P (Panjang kolektor) : 60 cm = 0.6 m
 L (Lebar kolektor) : 60 cm = 0.6 m
 Δx_A (Tebal Plat Aluminium) : 0.3 mm = 0.0003 m
 Δx_B (Tebal Rockwool) : 4 cm = 0.04 m
 Δx_C (Tebal Triplex) : 3 mm = 0.003 m
 K (Tembaga) : 381.73 W/m °C

1. Luas panel surya Kolektor

$$\begin{aligned}
 A_K &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \\
 &= 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \\
 &= 0.36 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Pipa ½ inch

Untuk Pipa ½ inch, luasnya merupakan fungsi jari-jari dan r adalah jari-jari dan L panjang silinder

$$A_{p1} = 2\pi \times r \times L$$

$$\text{Diameter Pipa } \frac{1}{2} \text{ inch} = 0,0127 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 r_{D2} &= \frac{\text{diameter } D2}{2} \\
 &= \frac{0.0127}{2} = 0.00635 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{D2} &= 2 \cdot \pi \times 0.00635 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\
 &= 6.28 \times 0.00635 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\
 &= 0.25451 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Perpindahan Panas Konduksi

$$\begin{aligned}
 q &= -k \cdot A \frac{dT}{dx} \\
 &= 380,16 \text{ W/m} \cdot \text{°C} \times 0.25451 \text{ m}^2 \frac{86.915 \text{ °C}}{0.05 \text{ m}} \\
 &= 79.057 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Konveksi

Digunakan temperatur Tf untuk mencari nilai sifat – sifat air

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_w + T_{\infty}}{2} \\
 T_f &= \frac{73.968 \text{ °C} + 32.325 \text{ °C}}{2} \\
 &= 53,14625 \text{ °C}
 \end{aligned}$$



Sehingga karakteristik air pada temperatur 53.14 °C sebagai berikut :

$$C_p = 4,178937397 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\rho = 985,739 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,000514 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$k = 0,649 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 3,304$$

5. Debit aliran

$$\text{Volume} = 1.568 \text{ ml} = 0.001568 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu (t)} = 7 \text{ jam} = 25200 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\text{volume}}{\text{waktu}} \\ &= \frac{0.001568 \text{ m}^3}{25200 \text{ detik}} \\ &= 6,22222 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

6. Kecepatan

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A_{D_2}} \\ &= \frac{6,22222 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}}{0,00635 \text{ m}^2} \\ &= 2,4448 \times 10^{-7} \text{ m/s} \end{aligned}$$

7. Nilai Reynold

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho \times V \times D_2}{\mu} \\ &= \frac{985,73 \text{ kg/m}^3 \times 2,4448 \times 10^{-7} \text{ m/s} \times 0,00635 \text{ m}}{73,968 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \\ &= 0,0060 \text{ (laminer)} \end{aligned}$$

8. Nilai Nuselt pada kondisi laminar pada pipa

$$\begin{aligned} Nu &= 1.86 (Re.Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= 1.86 \times (0,0060 \times 3,304)^{1/3} \times \left(\frac{0,25451 \text{ m}}{6 \text{ m}} \right)^{1/3} \times \left(\frac{0,000514 \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{0,000211 \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \right)^{0,14} \\ &= 0,0731 \end{aligned}$$

9. Nilai Koefisien Konveksi

$$\begin{aligned} h &= \frac{Nu \cdot k}{D_2} \\ &= \frac{0,0731 \times 0,649 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{0,25451 \text{ m}^2} \\ &= 2195,912 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

10. Laju perpindahan panas konveksi

$$\begin{aligned} q &= h.A (T_w - T_\infty) \\ &= 2195,912 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 0,36 \text{ m} (73,968 ^\circ\text{C} - 32,325 ^\circ\text{C}) \\ &= 43154,940 \text{ Watt} \end{aligned}$$

11. Perpindahan Panas Radiasi

$$\text{Konstanta Stefan Boltzmann} = 5,669 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$$

$$Q = \sigma \cdot A_K \cdot (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$\begin{aligned} Q &= 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \times 0,36 \text{ m}^2 ((305,325 ^\circ\text{K})^4 - (325,915 ^\circ\text{K})^4) \\ &= 165,098 \text{ watt} \end{aligned}$$

12. Energi masuk

$$\begin{aligned} Q_{in} &= I_t \times A_k \\ &= 735,100 \text{ W/m}^2 \times 0,36 \text{ m}^2 \\ &= 264,636 \text{ Watt} \end{aligned}$$



13. Energi berguna

$$m = \rho \times v$$

$$m = 985,739 \text{ kg/m}^3 \times 0,001568 \text{ m}^3$$

$$= 1,546 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{used}} = \frac{m \cdot h_{fg}}{t}$$

$$= \frac{985,739 \text{ kg} \times 2395,1 \text{ kJ/kg}}{25200 \text{ detik}}$$

$$= 0,147 \text{ kJ/s}$$

$$= 146,905 \text{ Watt}$$

14. Efisiensi

$$\eta_d = \frac{Q_{\text{used}}}{Q_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

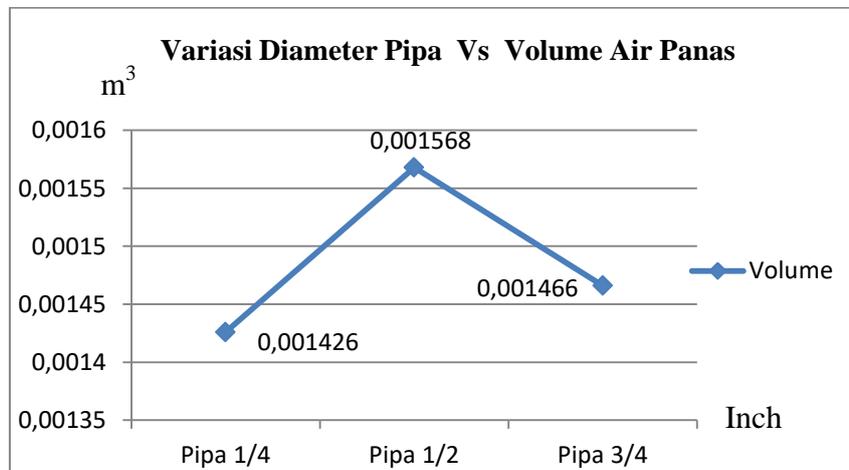
$$= \frac{146,905 \text{ Watt}}{264,636 \text{ Watt}} \cdot 100 \%$$

$$= 55,512 \%$$

15. Perhitungan Pipa Selengkapnya untuk semua pipa

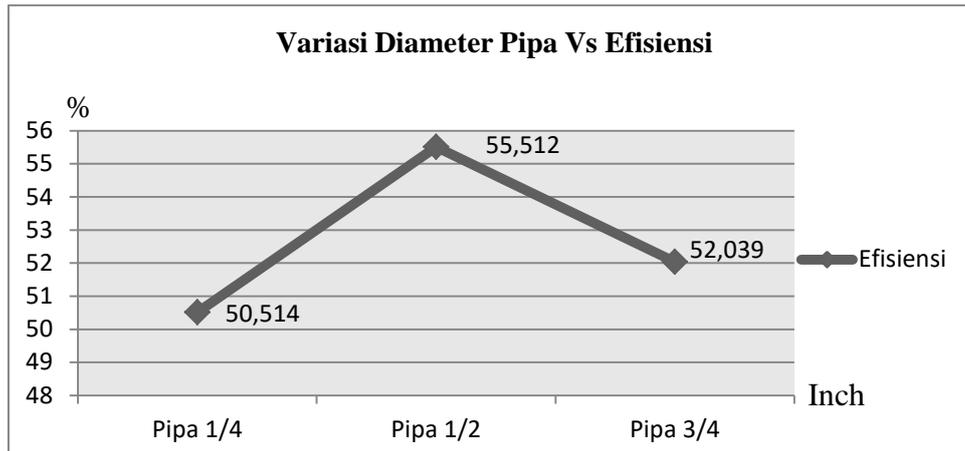
Tabel 3.4. Perhitungan perpindahan panas dengan variasi diameter pipa

Diameter pipa	Pipa ¼ inch	Pipa ½ inch	Pipa ¾ inch	satuan
Volume	0,001426	0,001568	0,001466	m ³
q konduksi	79057,991	168881,649	238153,463	Watt
q konveksi	67472,076	43154,940	32872,893	Watt
q radiasi	1,14235	1,1423	1,1423	Watt
Efisiensi	50,5145	55,512	52,039	%



Gambar 4.1. Variasi Diameter Pipa Vs Volume Air Panas.

Dari grafik diatas nilai volume dengan pipa diameter ½ inch menghasilkan volume air panas 0,001568 m³ lebih banyak dari pipa diameter ¼ inch dan pipa diameter ¾ inch, ini dikarenakan panas berpindah dari pipa ke air dan menyebabkan gerakan molekul bergerak lebih baik pada pipa diameter ½ inch menyebabkan tumbukan-tumbukan molekul air yang lebih cepat untuk menghasilkan air panas, pada pipa diameter ¼ inch gerakan molekul yang menerima panas sulit bergerak untuk menghasilkan panas, sedangkan pada pipa ¾ inch gerakan molekul yang menerima panas terlalu luas untuk bergerak sehingga tumbukan-tumbukan molekul air yang lebih lambat untuk menghasilkan air panas.



Gambar 4.5. Variasi Diameter Pipa Vs Efisiensi

Dari grafik diatas nilai efisiensi dengan pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch menghasilkan efisiensi 55,51 % lebih efisien dari pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch dan pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch, ini ada hubungannya dengan volume air panas yang diperoleh yang dikarenakan panas berpindah dari pipa ke air dan menyebabkan gerakan molekul bergerak lebih baik pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch menyebabkan tumbukan-tumbukan molekul air yang lebih cepat untuk menghasilkan air panas lebih cepat dari pipa $\frac{3}{4}$ inch yang menghasilkan 52,04 % sedangkan pipa $\frac{1}{4}$ inch menghasilkan 50, 51 %.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengamatan, pengambilan data analisa perhitungan peneliti berkesimpulan bahwa :

1. Perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya dengan variasi diameter pipa bentuk sinusoidal untuk perpindahan panas konduksi untuk pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch mendapat nilai konduksi 238153,463 watt lebih besar dari pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch dan pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch, pada perpindahan panas konveksi pada pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch memperoleh 67472,076 watt lebih besar dari pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch dan pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch, sedangkan perpindahan panas radiasi pada pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch, pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch, pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch yaitu memperoleh perpindahan panas radiasi yang sama sebesar $1,142 \text{ w/m}^2$.
2. Nilai efisiensi panas yang dihasilkan kolektor pemanas surya dengan variasi diameter pipa bentuk sinusoidal pada pipa diameter $\frac{1}{2}$ inch menghasilkan efisiensi 55,51 % lebih efisien dari pipa diameter $\frac{1}{4}$ inch dan pipa diameter $\frac{3}{4}$ inch.

DAFTAR PUSTAKA

- Caturwati, N. K., Yuswardi, Y., & Nino, S. (2012). Peningkatan Efisiensi Absorpsi Radiasi Matahari pada Solar Water Heater dengan Pelapisan Warna Hitam. *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol, 5(1), 1-97.
- Himsar Ambarita, "Termodinamika Teknik" Fundamental dan Aplikasi Intelegensia Media 2017
- Holpman. Jack P. Alih Bahasa Ir. E. Jasifi M.Sc 1994. *Manual Book. Perpindahan Kalor.* Jakarta Elangga.
- Mahendra, I., & Ichani, D. (2014). Studi Eksperimental Pemanas Air Tenaga Surya Pelat Absorber Type Sinusoidal dengan Variasi Terhadap Derajat Kevacuman dan Aspect Ratio. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), B70-B75.
- Susanto, H., & Irawan, D. (2017). Pengaruh jarak antar pipa pada kolektor terhadap panas yang dihasilkan solar water heater (swh). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1).
- Kern, D.Q., "Process Heat Transfer", International Student Edition, McGraw Hill Kogakusha, Ltd., New York.
- Mikheyev, M., "Fundamentals of Heat Transfer", John Willey & Sons Inc., New York, 1986.

IncoperaDe Witt, "Fundamentals of Heat Transfer", John Willey & Sons Inc., Ozisik, "Heat Transfer, a basic approach", 1984.
McAdams, W.H New York, 1981., "Heat Transmision", 3rd edition, McGraw Hill Book Company, Inc., New York.

