

EFEK TEKANAN PADA PERFORMANSI PEMANAS AIR TENAGA SURYA SISTEM PIPA PANAS DENGAN FLUIDA KERJA R718

EFFECT OF PRESSURE ON THE PERFORMANCE OF A HEAT PIPE SOLAR WATER HEATER USING R718 AS A WORKING FLUID

Himsar Ambarita

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU,
Medan, 20155, Indonesia
Email: himsar@usu.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pemanas air tenaga surya sistem pipa panas yang menggunakan air (R178) sebagai refrigeran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan efek dari tekanan vakum awal terhadap performansi pemanas air. Sebuah alat uji yang terdiri dari tiga pemanas air tenaga surya dengan tekanan awal yang berbeda telah dirancang bangun. Tekanan vakum pada masing-masing pipa panas divariasikan mulai dari 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg. Pengujian dilakukan sebanyak 3 tahapan pada intensitas radiasi surya yang berbeda. Intensitas radiasi rata-rata pada tahap I, tahap II, dan tahap III masing-masing adalah 497,76 W/m², 405,27 W/m², 333,83 W/m². Hasil pengujian menunjukkan temperatur maksimum air panas yang dihasilkan bervariasi mulai dari 51,14 °C dan 62,22 °C. Pada tahap I (intensitas tinggi), pada tekanan vakum 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg efisiensi thermal pemanas air adalah 30,94%, 32,01% dan 34,38%. Kesimpulan penelitian ini adalah R178 dapat digunakan sebagai refrigeran pada pemanas air tenaga surya dengan performansi yang cukup baik dan semakin tinggi tekanan vakum awal pipa panas, maka efisiensi thermal akan semakin tinggi. Efisiensi yang tertinggi adalah 45,92% yang terjadi pada tekanan vakum 45 cm Hg pada intensitas rata-rata 333,83 W/m².

Kata kunci: PATS, Kolektor, Pipa Panas, Refrigeran, R718

Abstract

In this work a heat pipe type solar water heater using R178 as a refrigerant is studied experimentally. The objective is to investigate the effect of initial vacuum pressure on the performance of the solar water heater. An experimental apparatus that consists of three difference solar water heaters has been designed and fabricated. The heat pipe is filled with R178 and vacuumed at an initial pressure. The pressure is varied from 35 cm Hg, 40 cm Hg, and 45 cm Hg. The experimental apparatus is tested by exposing to solar irradiance in Medan city of Indonesia. The experiments are carried out for three different days. The averaged solar intensity at the first, second and third experiments are 497.76 W/m², 405.27 W/m², and 333.83 W/m², respectively. The results show that maximum temperature of the hot water varies from 51.14°C and 62.22°C. In the first experiment, thermal efficiency of the solar water heater at initial vacuum pressure 35 cm Hg, 40 cm Hg, and 45 cm Hg are 30.94%, 32.01% and 34.38%, respectively. The similar trends are also shown in the second and third experiments. These facts suggest that R178 can be used as a refrigerant in a heat pipe solar water heater with a good performance. The higher vacuum initial pressure of the heat pipe results in higher thermal efficiency. The highest thermal efficiency of the present study is 45.92%. It occurs at initial pressure and average irradiance of 45 cm Hg and 333.83W/m².

Keywords: Solar water heater, Collector, Heat pipe, Refrigerant, R718

Pendahuluan

Pemanasan global yang diakibatkan oleh meningkatnya emisi gas-gas rumah kaca (GRK) diyakini akan mengancam keberlangsungan hidup manusia di Bumi. Untuk menghindari Bumi dari kehancuran, banyak negara telah menetapkan komitmen untuk mengurangi emisi GRK. Indonesia, pertama sekali mengeluarkan komitmen pengurangan emisi GRK pada pertemuan UNFCCC/COP 13 di Bali

tahun 2007 yang menyebutkan secara sukarela akan mengurangi emisi 26% dari laju emisi normal (*Business-as-Usual*/BAU) pada tahun 2020 dan target ini bisa menjadi 41% dengan bantuan asing. Target ini kemudian direvisi lagi pada pertemuan UNFCCC/COP21 di Paris tahun 2015 menjadi 29% dibawah BAU pada tahun 2039 dan menjadi 41% dengan bantuan asing. Komitmen ini telah memberikan tantangan bagi pemerintah dan juga peneliti untuk mengurangi emisi GRK tanpa harus

mengurangi laju pembangunan. Sumber emisi GRK dapat dibagi atas beberapa sektor, salah satunya adalah sektor energi. Pada sektor ini emisi GRK dihasilkan dari kegiatan pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan kerja (*work*) dan atau listrik. Salah satu solusi mengurangi emisi GRK adalah meningkatkan penggunaan energi terbarukan seperti energi surya.

Energy surya dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menggantikan penggunaan energi fosil. Salah satu subsektor energi yang menghasilkan emisi GRK adalah penggunaan bahan bakar fosil dan atau energi listrik untuk pemanas air. Menggunakan energi surya sebagai sumber panas pada pemanas air merupakan salah satu aplikasi yang cukup potensial untuk mengurangi emisi. Hal ini telah banyak mendorong para peneliti untuk melakukan penelitian pemanas air tenaga surya (PATS) untuk mendapatkan alat yang optimum serta ramah terhadap lingkungan.

Penelitian PATS sudah banyak dilakukan oleh para peneliti [9]. Penelitian ini fokus pada PATS yang menggunakan pipa panas (*heat pipe*) untuk menghantarkan panas dari kolektor ke tangki air yang dipanaskan. Di dalam pipa panas digunakan fluida kerja (*working fluid*) atau biasa disebut refrigeran. Beberapa peneliti telah melaporkan penelitiannya tentang PATS sistem pipa panas. Soin dkk. [7,8] telah meneliti performansi pemanas air pipa panas yang menggunakan refrigeran *acetone* dan *ether*. Parameter yang diteliti adalah efek dari isolasi dan volume refrigeran di dalam pipa panas terhadap performansi PATS. Chun dkk. [11] melakukan kajian eksperimental terhadap pemanas air domestik dengan sistem pipa panas. Beberapa konfigurasi sistem dengan fluida kerja yang berbeda antara lain *acetone*, *methanol*, *ethanol*, air, dan campuran *etanol* dan air. Joudi dan Al-Tabbakh [5] melakukan simulasi pada pemanas air domestik sistem pipa panas dengan menggunakan refrigeran R11 sebagai fluida kerja. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem pipa panas dengan fluida kerja yang berubah fasa mempunyai efisiensi 20% lebih tinggi dibandingkan dengan fluida kerja satu fasa. Selain mempunyai efisiensi yang lebih tinggi juga respon yang lebih baik.

Radhwan dkk. [1] melakukan kajian eksperimental performansi dari PATS sistem pipa panas dengan refrigeran R11 yang bersirkulasi secara natural dan aliran paksa. Hasilnya menunjukkan kemiringan kondensor mempunyai efek yang signifikan pada aliran secara natural tetapi tidak mempunyai efek pada aliran paksa. Payakaruk dkk. [10] melakukan study pada *thermosyphon* yang miring dimana fluida kerja yang digunakan adalah R22, R123, dan R134a. Efek dari beberapa rasio pengisian (*filling ratio*) yaitu 50%, 80%, dan 100% juga telah diuji. Hasilnya menunjukkan rasio pengisian pipa panas tidak mempunyai efek terhadap rasio dari karakteristik perpindahan panas pada sudut berapapun

terhadap posisi vertikal. Tetapi sifat fluida kerja berpengaruh pada rasio perpindahan panas ini. Mathioulakis dan Belessiotis [2] mempublikasikan hasil kajian teoritis dan eksperimen dari sifat energy dari PATS pipa panas dengan refrigeran *ethanol*. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi dapat mencapai 60%.

Enaburekhan dan Yakasai [4] melakukan penelitian secara eksperiment untuk membandingkan performansi PATS sistem pipa panas yang diisi dengan refrigeran serta diuji pada kondisi radiasi di Nigeria. Refrigeran yang diuji adalah R134a, R12, dan *ethanol*. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi maksimum pada masing-masing refrigeran adalah 40,63% untuk R12, 50,78% untuk *ethanol* dan 56,59% untuk R134a. Hal ini menunjukkan bahwa refrigeran terbaik adalah R134a. Esen dan Esen [6] melakukan pengujian terhadap performansi pemanas air sistem pipa panas dengan menggunakan refrigeran yang berbeda dan diuji pada kondisi di Turki. Tiga prototip dengan dimensi yang sama tetapi diisi dengan refrigeran yang berbeda yaitu R134a, R407C dan R410A diuji pada beberapa kondisi cuaca dan beban yang berbeda. Performansi sistem pada kondisi langit cerah dengan dan tanpa beban telah dievaluasi. Kesimpulan pengujian tersebut adalah R410 menunjukkan performansi yang terbaik karena menghasilkan efisiensi yang tertinggi, yaitu sekitar 54,06% sampai 55,98%.

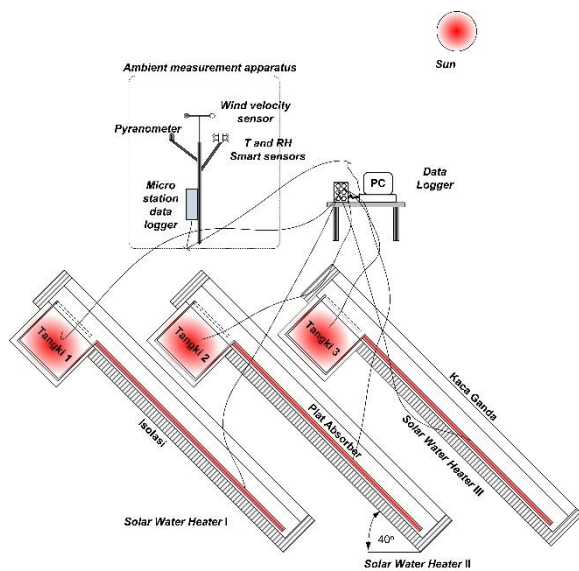
Literatur yang disebut di atas menunjukkan bahwa PATS sistem pipa panas yang diisi oleh refrigeran telah mendapat perhatian khusus dari para peneliti. Fokus penelitian-penelitian tersebut adalah mencari refrigeran terbaik untuk menghasilkan performansi yang tertinggi. Beberapa refrigeran yang sudah diuji antara lain adalah R11, R22, *ethanol*, R134a, R407, dan R410. Sebagai catatan, semua refrigeran ini dikenal sebagai bahan kimia yang mempunyai dampak kurang baik terhadap lingkungan. Hal ini menjadi latar belakang penelitian ini, yaitu menggunakan refrigeran yang ramah terhadap lingkungan. Pada penelitian ini diajukan PATS sistem pipa panas dengan menggunakan air sebagai refrigeran. Sebagai catatan, air sebagai refrigeran mempunyai nama khusus yaitu R718. Beberapa penelitian awal telah dilakukan oleh peneliti untuk menguji perbandingan performansi refrigeran R718 dengan refrigeran lainnya. Ambarita dan Sitepu [3] melakukan pengujian untuk membandingkan performansi PATS sistem pipa panas yang menggunakan R718 dan R141b. Pada pengujian dengan radiasi matahari kota Medan R141b lebih baik daripada R718. Tetapi tekanan kerja dan kondisi kemiringan dari alat uji yang digunakan belum dioptimasi. Pada pengujian tersebut efisiensi thermal yang didapat juga masih cukup rendah, yaitu 34%.

Berdasarkan penelusuran literatur dan penelitian awal yang sudah dilakukan, maka perlu dilakukan

penelitian lanjutan PATS sistem pipa panas dengan menggunakan R718 sebagai refrigeran. Pada penelitian ini karakteristik dan performansi PATS sistem pipa panas dengan menggunakan R178 sebagai refrigeran akan dikaji secara eksperimen. Salah satu parameter yang menentukan performansi PATS sistem pipa panas adalah tekanan awal refrigeran di dalam pipa. Pada penelitian ini parameter yang akan dikaji adalah efek dari perbedaan tekanan awal refrigeran pada pipa panas terhadap performansi PATS. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi penting untuk pengembangan pemanas air tenaga surya yang efektif dan efisien.

Peralatan Eksperimen

Pada penelitian ini telah dirancang bangun sebuah alat uji yang dapat melakukan pengujian pada tiga PATS secara simultan. Pada Gambar 1 ditampilkan skema dari PATS yang digunakan. Seperti yang terlihat pada gambar, 3 PATS dapat diuji secara bersamaan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa ketiga PATS mendapat paparan radiasi matahari yang sama saat diuji.



Gambar 1. Diagram alat uji

PATS yang diuji terdiri dari 3 komponen utama, yaitu kolektor surya, pipa panas, dan tangki penyimpanan air yang dipanaskan. Pada penelitian ini, jenis kolektor surya yang digunakan adalah plat datar dengan luas masing-masing kolektor adalah $0,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Untuk mengurangi kehilangan panas, pada sisi bawah dan samping kolektor diisolasi dengan menggunakan *rockwool* dengan ketebalan 10 cm. Sementara pada bagian atas ditutup dengan menggunakan kaca ganda yang jaraknya 5 cm. Jarak kaca penutup yang paling bawah dengan plat kolektor adalah 10 cm. Kemudian panas dari kolektor akan dihantarkan ke tangki air dengan menggunakan pipa

panas yang bekerja dengan prinsip evaporasi dan kondensasi. Pipa panas yang digunakan adalah sebuah pipa yang dihubungkan membentuk kurva tertutup dengan ukuran pipa $\frac{3}{4}$ inci. Panjang masing-masing pipa adalah 100 cm dan jarak antar pipa adalah 10 cm. Masing-masing PATS digunakan memanaskan air sebanyak 4 liter yang berada di dalam tangki.

Pada saat pengujian, dilakukan pengukuran parameter yang akan digunakan untuk melakukan analisis. Parameter yang diukur pada setiap PATS adalah tekanan fluida kerja di dalam pipa panas, temperatur plat kolektor, dan temperatur air panas di dalam tangki. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel *type-J* dengan akurasi $0,1^\circ\text{C}$. Hasil pengukuran temperatur akan direkam setiap 1 menit dengan menggunakan *data logger* AGILENT yang dapat beroperasi 20 saluran pengukuran. Tekanan diukur dengan menggunakan *manifold gauge* yang mempunyai ketelitian 1 psi. Pengumpulan hasil pengukuran tekanan dilakukan secara manual dengan melakukan pencatatan setiap 1 jam.

Kondisi cuaca pada saat pengujian diukur dengan menggunakan *HOBO microstation data logger*. Parameter cuaca yang diukur adalah temperatur dan kelembaban relatif (RH), radiasi energi surya dan kecepatan angin. Temperatur dan RH diukur dengan menggunakan *temperature RH smart sensor* yang memiliki akurasi $0,2^\circ\text{C}$ dan $\pm 2,5\%$ RH. Sementara kecepatan angin diukur dengan menggunakan *wind smart sensor* yang memiliki akurasi $\pm 1,1 \text{ m/s}$. Dan radiasi matahari diukur dengan menggunakan *pyranometer smart sensor* yang mempunyai ketelitian $\pm 10,0 \text{ W/m}^2$ atau $\pm 5\%$ dan tambahan *temperature error* $0,38 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ dari 25°C ($0,21 \text{ W/m}^2/^\circ\text{F}$ dari 77°F). Resolusi *pyranometer* yang digunakan adalah $1,5 \text{ W/m}^2$.

Prinsip kerja alat ini secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut. Energi surya yang sampai ke plat kolektor akan digunakan memanaskan plat kolektor. Panas dari plat kolektor akan digunakan memanaskan pipa panas dan naiknya temperatur pipa akan membuat R178 di dalam pipa akan mendidih. Hal ini bisa terjadi karena tekanan refrigeran di dalam pipa berada di bawah tekanan atmosfer atau dalam kondisi vakum. Refrigeran yang mendidih akan mengalir ke dalam tangki air. Karena temperatur air di dalam tangki rendah, maka refrigeran akan mengalami kondensasi dan refrigeran cair akan kembali turun ke pipa di kolektor dan selanjutnya refrigeran ini akan melakukan siklus.

Parameter Analysis

Berdasarkan prinsip kerja yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka tekanan kerja awal pipa panas akan mempengaruhi performansi dari PATS. Pada penelitian ini tekanan kerja awal akan divariasikan untuk mengetahui efeknya terhadap

performansi PATS. Pada masing-masing tekanan akan dilakukan pengukuran temperatur dan kondisi cuaca. Hasil pengukuran ini akan digunakan untuk melakukan analisis.

Besarnya energi radiasi yang diterima oleh kolektor surya akan dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$Q_i = A \int Idt \quad (1)$$

Dimana A (m^2) adalah luas kolektor dan I (W/m^2) adalah radiasi surya yang diterima kolektor pada posisi datar/horizontal. Tetapi, pada penelitian ini, kolektor yang digunakan dipasang dengan kemiringan β terhadap horizontal. Maka nilai intensitas akan berubah dan dihitung dengan persamaan (2).

$$I' = I \left[I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (2)$$

Dimana I' (W/m^2) adalah intensitas radiasi yang diterima kolektor yang dimiringkan.

Panas yang dibawa oleh uap refrigeran ke dalam tangki air akan digunakan untuk memanaskan air dari temperatur awal T_i ($^{\circ}C$) menjadi temperatur saat diukur T_w ($^{\circ}C$). Panas ini akan disebut panas yang berguna dan dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$Q_u = m_w c_w (T_w - T_i) \quad (3)$$

Dimana m_w (kg) adalah massa air di dalam tangki dan c_w (J/kgK) adalah panas jenis air yang dipanaskan. Kemudian performansi PATS ini akan dinyatakan dengan efisiensi thermal yang dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} \quad (4)$$

Paramete-parameter ini akan dihitung dengan menggunakan data hasil pengukuran.

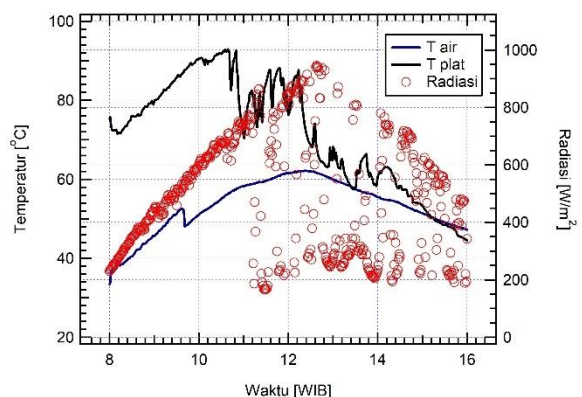
Hasil dan Diskusi

PATS yang telah dibuat diuji di lantai 4 Gedung Pascasarjana Teknik Mesin USU, Medan Indonesia. Koordinat pengujian adalah $3^{\circ}34'$ North dan $98^{\circ}40'$ East. Penelitian dibagi atas tiga tahapan pengujian, dimana setiap tahapan terdiri dari 3 PATS yang dioperasikan pada tekanan yang berbeda mulai dari 35 cm Hg, 40 cm Hg dan 45 cm Hg. Semakin tinggi nilai tekanan awal ini maka semakin vakum kondisi di dalam pipa panas. Untuk memudahkan diskusi masing-masing PATS akan dibedakan dengan tekanan awalnya. Dengan kata lain PATS 35 artinya pemanas air tenaga surya pipa panas dengan tekanan

vakum awal 35 cm Hg. Demikian juga untuk PATS 40 dan PATS 45 masing-masing menyatakan saat tekanan vakum awal 40 cm Hg dan 45 cm Hg. Pembahasan hasil akan dibagi atas dua bagian. Pada bagian pertama akan ditampilkan karakteristik PATS pada saat diuji. Pada bagian kedua akan ditampilkan perbandingan performansi PATS pada setiap kelompok pengujian.

a. Karakteristik PATS

Karakteristik operasi dari PATS 45 pada pengujian tahap I ditampilkan pada Gambar 2. Pada gambar ditampilkan radiasi surya hasil pengukuran dan temperatur plat kolektor pada PATS dan temperatur air pada tangki 1. Pengujian dilakukan mulai pukul 8.00 WIB dan berakhir pukul 16.00 WIB. Pada gambar dapat dilihat mulai pukul 8.00 WIB sampai dengan pukul 11.00 WIB, radiasi matahari meningkat dengan meningkatnya waktu. Pada rentang waktu ini, langit cukup cerah dimana tidak terdapat penurunan radiasi yang tiba-tiba. Tetapi setelah pukul 12.00 WIB, pada waktu tertentu radiasi matahari turun secara tiba-tiba. Hal ini terjadi karena radiasi surya telah diblok oleh awan untuk sampai ke permukaan kolektor. Hasil pengukuran menunjukkan selama pengujian, radiasi rata-rata adalah sebesar $497,76 W/m^2$. Nilai ini dikategorikan dengan kondisi langit yang cerah. Energi surya yang diterima oleh masing-masing kolektor surya dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) dan hasilnya adalah 1,4 MJ.



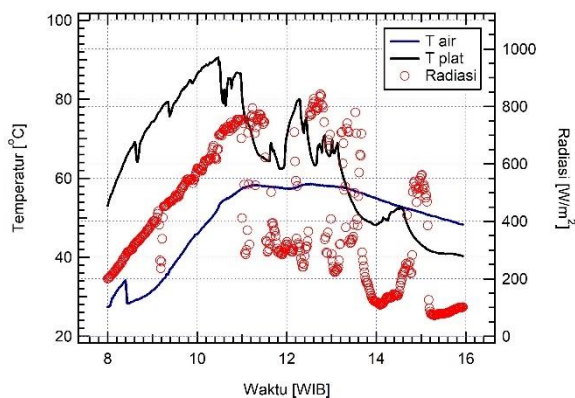
Gambar 2. Karakteristik PATS 45 pada Pengujian I

Pada Gambar 2 juga ditunjukkan temperatur pada permukaan plat kolektor dan temperatur air di dalam tangki. Temperatur plat, sejak pukul 8.00 WIB meningkat dengan meningkatnya waktu. Temperatur tertinggi adalah $92^{\circ}C$ pada pukul 10.39 WIB. Setelah pukul 12.00 WIB temperatur plat turun secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh radiasi juga mengalami penurunan. Temperatur air di dalam tangki mengalami kenaikan mulai pukul 8.00 WIB sampai mencapai temperatur maksimum. Temperatur maksimum air di dalam tangki adalah $62,22^{\circ}C$ pada pukul 12.23 WIB. Setelah mencapai temperatur

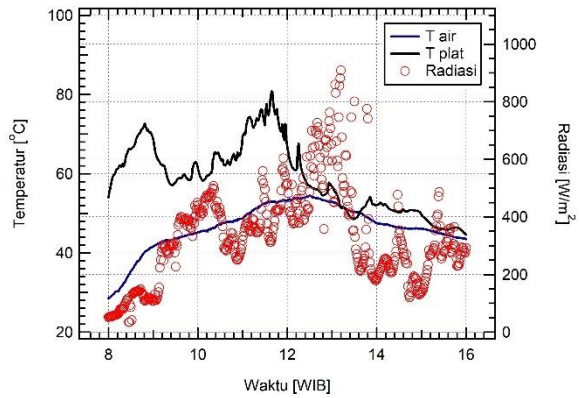
maksimum ini, temperatur air di dalam tangki akan terus menurun, hingga akhirnya mencapai 47,24°C pada akhir pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa setelah pukul 12.23 WIB, kolektor surya tidak dapat lagi melakukan fungsinya untuk memanaskan air. Hal ini diakibatkan dua hal. Pertama terjadi kehilangan panas dari tangki ke lingkungan yang cukup besar dan kedua temperatur plat tidak mampu lagi untuk mengubah fasa refrigeran di dalam pipa meskipun temperaturnya masih lebih tinggi dari temperatur air. Bahkan setelah pukul 15.11 WIB temperatur air di dalam tangki menjadi lebih tinggi dari temperatur plat kolektor. Perbedaan temperatur maksimum air di dalam tangki dan temperatur air di akhir pengujian ada sebesar 14,98°C. Hal ini menunjukkan kehilangan energi yang cukup besar dari air di dalam tangki ke lingkungan.

Pada kondisi yang sama dengan pengujian I, dilakukan lagi pengujian pada hari yang berbeda dan disebut pengujian II dan pengujian III. Karena harinya berbeda, maka karakteristik panas radiasi yang diterima kolektor juga berbeda. Gambar 3 menunjukkan radiasi, temperatur plat, dan temperatur air yang diukur pada PATS 45. Pada gambar dapat dilihat karena karakteristik radiasi surya berbeda dengan pengujian I, maka temperatur plat kolektor juga mengalami sedikit perbedaan. Hasil pengukuran menunjukkan selama pengujian, radiasi rata-rata adalah sebesar 405,27 W/m². Nilai ini dikategorikan dengan kondisi langit yang sedang atau tidak cerah. Pada pengujian ini setelah pukul 11.30 WIB, radiasi surya mengalami penurunan yang cukup signifikan karena langit sudah banyak di tutup awan.

Pada Gambar 4 ditampilkan pengujian tahap III. Hasil pengukuran menunjukkan selama pengujian, radiasi rata-rata adalah sebesar 333,83 W/m². Nilai ini dikategorikan dengan kondisi langit mendung. Dengan kata lain, radiasi surya yang datang ke permukaan bumi diblok oleh awan, sebagai akibatnya radiasi yang mencapai permukaan kolektor banyak yang rendah. Hal ini sangat mempengaruhi temperatur pada permukaan kolektor dan juga temperatur air panas yang dihasilkan.



Gambar 3. Karakteristik PATS 45 pada Pengujian II



Gambar 4. Karakteristik PATS 45 pada Pengujian III

Temperatur plat kolektor dan temperatur air di dalam tangki untuk PATS 35 dan PATS 40 saat pengujian tahap I, tahap II, dan tahap III juga diukur tetapi tidak ditampilkan dalam bentuk grafik. Hasil pengukuran akan digunakan dalam melakukan analysis performansi pada bagian berikut.

b. Perbandingan Performansi

Berdasarkan data hasil pengujian, telah dilakukan analysis untuk menghitung performansi PATS. Performansi PATS pada tahap I pengujian ditampilkan pada Tabel 1. Pada tahap I ini intensitas radiasi rata-rata yang diterima oleh kolektor adalah 497,76 W/m² dan energi radiasi yang diterima masing-masing kolektor selama pengujian adalah 1,41 MJ. Pada PATS 35, temperatur air di dalam tangki naik dari 30,48°C menjadi 56,39 °C. Dengan menggunakan persamaan (4), efisiensi thermal PATS 35 pada tahap I pengujian ini adalah 30,94%. Jika tekanan vakum di dalam pipa panas lebih diturunkan lagi ke 40 cm Hg, temperatur maksimum air menjadi 59,13°C dengan efisiensi thermal 32,01%. Kemudian temperatur maksimum dan efisiensi thermal untuk PATS 45 masing-masing adalah 62,22°C dan 34,38%. Hal ini menunjukkan penurunan tekanan akan menaikkan efisiensi dan temperatur maksimum air di dalam tangki.

Tabel 1. Performansi Pengujian Tahap I

Parameter	Tekanan kerja awal		
	35 cm Hg	40 cm Hg	45 cm Hg
Temperatur awal air	30,48°C	32,33 °C	33,43 °C
Temperatur maximum air	56,39 °C	59,13 °C	62,22 °C
Intensitas rata-rata	497,76 W/m ²		
Energi di tiap kolektor	1,40 MJ		
Efisiensi Termal	30,94%	32,01%	34,38%

Hasil analisis untuk pengujian tahap II ditampilkan pada Tabel 2. Pada tahap ini, intensitas radiasi rata-rata selama pengujian adalah 405,27 W/m² dan energi yang diterima masing-masing kolektor adalah 1,14 MJ. Jika dibandingkan dengan pengujian tahap I, maka pengujian tahap II ini mempunyai intensitas radiasi matahari dan energi yang diterima masing-masing kolektor yang lebih kecil. Hasil pengujian menunjukkan temperatur maksimum dan efisiensi thermal PATS 35 masing-masing adalah 57,59 °C dan 43,81%. Jika tekanan vakum di dalam pipa panas diturunkan menjadi 40 cm Hg dan 45 cm Hg, maka data pengujian menunjukkan temperatur maksimum air di dalam pipa dan efisiensi thermal akan meningkat.

Tabel 2. Performansi Pengujian Tahap II

Parameter	Tekanan kerja awal [cm Hg]		
	35 cm Hg	40 cm Hg	45 cm Hg
Temperatur awal air	26,57°C	27,31 °C	27,4 °C
Temperatur maximum air	57,59 °C	58,20 °C	58,62 °C
Intensitas rata-rata	405,27 W/m ²		
Energi di tiap kolektor	1,14 MJ		
Efisiensi Termal	43,81%	45,08%	45,57%

Tabel 3. Performansi Pengujian Tahap III

Parameter	Tekanan kerja awal [cm Hg]		
	35 cm Hg	40 cm Hg	45 cm Hg
Temperatur awal air	28,00°C	28,04 °C	28,53 °C
Temperatur maximum air	51,14 °C	51,45 °C	54,46 °C
Intensitas rata-rata	333,83 W/m ²		
Energi di tiap kolektor	0,94 MJ		
Efisiensi Termal	40,98%	41,45%	45,92%

Analisis performansi pada pengujian tahap III ditampilkan pada Tabel 3. Data pada tabel menunjukkan intensitas radiasi rata-rata pada pengujian ini adalah 333,83 W/m² dan energi yang diterima masing-masing kolektor adalah 0,94 MJ. Jika dibandingkan dengan radiasi pada pengujian tahap I dan tahap II, maka pengujian tahap III ini dapat dikatakan pada kondisi langit yang mendung. Karena mendung maka temperatur maksimum air di dalam

tangki juga lebih rendah daripada pengujian sebelumnya. Pada tahap III ini temperatur maksimum air di dalam tangki untuk tekanan 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg masing-masing adalah 51,14 °C, 51,45 °C dan 54,46 °C. Dengan kata lain masih lebih rendah daripada penelitian tahap I dan tahap II. Data pada tabel juga menunjukkan semakin rendah tekanan vakum maka temperatur dan efisiensi thermal akan semakin tinggi.

Perbedaan pengujian tahap I, II, dan III adalah kondisi cuaca dan dalam hal ini adalah intensitas radiasi. Intensitas radiasi tertinggi terjadi pada pengujian tahap I, kemudian menurun pada tahap II dan yang terkecil adalah tahap III. Data pada tabel menunjukkan, semakin kecil intensitas radiasi maka semakin kecil temperatur maksimum air di dalam tangki. Hal ini disebabkan energi yang diterima air semakin kecil pula. Kemudian, semakin kecil radiasi yang diterima kolektor, efisiensi thermal PATS justru semakin besar. Hal ini dikarenakan menurunnya kenaikan energi berguna yang didapatkan dari kenaikan temperatur air tidak sebanding dengan kecilnya energi radiasi yang diterima kolektor. Dengan kata lain tingginya efisiensi kolektor pada intensitas radiasi yang kecil tidak menggambarkan performansi PATS yang semakin baik. Maka perlu diusulkan parameter lain yang menyatakan performansi dari PATS ini.

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian PATS sistem pipa panas yang menggunakan air (R178) sebagai refrigeran. Sebuah alat uji yang terdiri dari tiga pemanas air tenaga surya dengan tekanan awal yang berbeda telah dirancang bangun. Masing-masing PATS dioperasikan pada tekanan vakum yang berbeda. Tekanan vakum pipa panas divariasikan mulai dari 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg. Masing-masing PATS diuji dengan pemaparan langsung pada radiasi matahari. Pengujian dilakukan sebanyak 3 tahapan pada intensitas rata-rata 497,76 W/m², 405,27 W/m², dan 333,83 W/m². Setelah melakukan analisa terhadap hasil pengujian, kesimpulan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Temperatur maksimum air panas yang dihasilkan cukup tinggi dimana nilainya bervariasi mulai dari 51,14 °C dan 62,22 °C.
- Pada pengujian dengan intensitas rata-rata yang tinggi, efisiensi thermal PATS pada tekanan vakum 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg masing-masing sebesar 30,94%, 32,01% dan 34,38%.
- Pada pengujian dengan intensitas rata-rata radiasi yang sedang, efisiensi thermal PATS pada tekanan

vakum 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg meningkat menjadi 43,81%, 45,08% dan 45,57%.

- Pada pengujian dengan intensitas rata-rata radiasi yang rendah, efisiensi thermal PATS pada tekanan vakum 35 cm Hg, 40 cm Hg, dan 45 cm Hg menjadi 40,98%, 41,45% dan 45,92%.
- Semakin tinggi tekanan vakum maka temperatur air panas yang dihasilkan akan semakin tinggi dan efisiensi thermal akan semakin tinggi.
- Semakin tinggi intensitas radiasi matahari maka temperatur air panas yang dihasilkan semakin tinggi, tetapi efisiensi thermal sistem akan semakin rendah.
- Air (R178) dapat digunakan sebagai refrigeran pada pemanas air tenaga surya dengan performansi yang cukup baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ardiko Pardede dan Richart Sembiring atas bantuan melakukan pengambilan data hasil pengujian untuk menghasilkan tulisan ini.

Daftar Pustaka

- [1]. A.M. Radhawan, G.M. Zaki, and A. Jamil, Refrigerant-charged integrated solar water heater, *International Journal of Energy Research* 14 (1990) 421 - 432.
- [2]. E. Mathioulakis and V. Belessiotis, A new heat-pipe type solar domestic hot water system, *Solar Energy* 72(1) (2002) 13-20.
- [3]. H. Ambarita and T. Sitepu, Experimental study on a prototype solar water heater using refrigerant R141b as a transfer fluid, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 237 (2017) 012014.
- [4]. J. Enaburekhan and U.T. Yakasai, Performance evaluation of refrigerant-charged integrated solar water heater in northern Nigeria, *Desalination* 243 (2009) 208-217.
- [5]. K.A. Joudi and A.A. Al-Tabbakh, Computer simulation of a two phase thermosyphon solar domestic hot water heating system, *Energy Conv. Manage.*, 40 (1999) 775-793.
- [6]. M. Esen and H. Esen, Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater, *Solar Energy* 79 (2005) 459-468.
- [7]. R.S. Soin, K. Sangameswar, D.P. Rao and K.S. Rao, Performance of flat plate solar collector with fluid undergoing phase change, *Solar Energy* 23(7) (1979) 67-73.
- [8]. R.S. Soin, S. Raghuraman, and V. Murali, Two-phase water heater model and long-term performance, *Solar Energy* 38 (2) (1987) 105-112.
- [9]. S. Jaisankar, J. Ananth, S. Thulasi, S.T. Jayasuthakar, and K.N. Sheeba, A comprehensive review on solar water heaters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 3045-3035.
- [10]. T. Payakaruk, P. Terdtoon, and S. Ritthidech, Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions, *Applied Thermal Engineering* 20 (2000) 781-790.
- [11]. W. Chun, Y.H. Kang, H.Y. Kwak and Y.S. Lee, An experimental study of the utilization of heat pipes for solar water heaters, *Appl. Thermal Eng.* 19(1999) 807-817.