PENGARUH BAHAN INSULASI TERHADAP PERPINDAHAN KALOR PADA TANGKI PENYIMPANAN AIR UNTUK SISTEM PEMANAS AIR BERBASIS SURYA

EFFECT OF INSULATION MATERIAL TO HEAT TRANSFER IN WATER STORAGE TANK FOR SOLAR WATER HEATING SYSTEM

Adli Destiawan Wicaksono[1], Drs. Suwandi, M.Si.[2], Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng [3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

adlidw@gmail.com[1], suwandi.sains@gmail.com[2], tri.ayodha@gmail.com[3]

Abstrak

Dalam penelitian ini, suatu sistem pemanas air tenaga surya dimana tangki penyimpanan yang berada di sistem ini dibungkus dengan bahan insulasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan insulasi terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan untuk sistem pemanas air tenaga surya. Bahan insulasi yang digunakan pada pengujian ini antara lain Armaflex, Busa, Ceramic Fiber, Glasswool, Kapas, Kapuk, Plasticine, Polyfoam, Rockwool, dan Styrofoam. Fluida yang berada di sistem pemanas air tenaga surya ini dialirkan dengan bantuan pompa aquarium. Debit yang digunakan untuk mengalirkan fluida yaitu 150 ml/min, 300 ml/min, dan 450 ml/min. Dari hasil penelitian, tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool memiliki total heat loss paling sedikit daripada bahan insulasi yang lain. Pada debit 150 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 807.429 J dan 705.579 J. Pada debit 300 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 2.067.534 J dan 2.032.464 J. Pada debit 450 ml/min, total heat loss pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi Armaflex dan Rockwool masing-masing sebesar 2.942.121 J dan 3.153.024 J.

Kata Kunci: tangki penyimpanan, heat loss, bahan insulasi

Abstract

In this research , a solar water heating system where storage tanks in the system is wrapped with insulation material. This test aims to determine the effect of insulation material on heat transfer in storage tank for solar water heating system. Insulation materials used include Armaflex, Foam, Ceramic Fiber, Glasswool, Cotton, Kapok, Plasticine, Polyfoam, Rockwool, and Styrofoam. The fluids in this solar water heater system are distributed with the help of an aquarium pump. The discharge used to flow the fluid is 150 ml/min, 300 ml/min, and 450 ml/min. From the research results, storage tanks with Armaflex and Rockwool insulation materials have a total heat loss at least than other insulation materials. At a discharge of 150 ml/min, the total heat loss in storage tank with Armaflex and Rockwool insulation materials is 807,429 J and 705,579 J. At discharge of 300 ml/min, the total heat loss in storage tank with Armaflex and Rockwool insulation material is 2,067,534 J and 2,032,464 J. At a discharge of 450 ml / min, the total heat loss in storage tank with Armaflex and Rockwool insulation materials is 2,942,121 J and 3,153,024 J.

Keyword: storage tank, heat loss, insulation material

1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil saat ini meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk yang mengakibatkan ketersediaan energi fosil semakin menipis. Oleh karena itu, masyarakat mulai mencari solusi untuk mengurangi ketergantungan kepada energi fosil ini, diantaranya dengan memanfaatkan energi terbarukan. Salah satunya dengan memanfaatkan matahari untuk menghasilkan energi panas.

Pemanas air tenaga surya adalah sebuah sistem yang menggunakan energi panas matahari untuk memanaskan air melalui kolektor surya yang kemudian disimpan ke dalam tangki penyimpanan [1]. Tangki penyimpanan merupakan salah satu komponen utama dari pemanas air tenaga surya yang berfungsi sebagai wadah penampung dan penyimpan air [2]. Selama proses pemanasan air berlangsung, temperatur air yang berada di dalam

tangki penyimpanan akan naik secara perlahan. Sedangkan temperatur di luar ruangan lebih rendah daripada temperatur air yang berada di dalam tangki penyimpanan. Hal ini akan terjadi proses konveksi alami, yakni di mana kalor yang berada di dalam tangki penyimpanan akan berpindah ke udara luar yang menyebabkan suhu air dalam tangki menurun atau biasa disebut *heat loss*. Selain itu, air yang berada didalam tangki penyimpanan juga akan mengalir dan bersirkulasi dari tangki penyimpanan ke kolektor surya dan sebaliknya. Hal ini juga dapat mengakibatkan terjadinya heat loss, karena besar dari debit air yang diberikan akan berpengaruh pada besar jumlah kalor yang terbuang (*heat loss*) pada air yang berada didalam tangki penyimpanan. Karena itu diperlukan modifikasi untuk mencegah terjadinya *heat loss* pada tangki penyimpanan yaitu dengan menambahkan berbagai macam bahan insulasi yang dipasang di bagian luar tangki penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan insulasi terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan untuk sistem pemanas air tenaga surya dan pengaruh bahan insulasi dengan variasi debit air terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan untuk sistem pemanas air tenaga surya.

Sistem pemanas air berbasis surya tersebut memiliki urutan kerja sebagai berikut. Air yang berada di tangki penyimpanan mengalir melewati kolektor surya untuk menghasilkan fluida dengan temperatur yang tinggi, kemudian fluida tersebut dialirkan kembali menuju tangki penyimpanan. Temperatur fluida saat masuk ke tangki penyimpanan, temperatur fluida saat didalam tangki penyimpanan dan temperatur fluida saat keluar dari tangki penyimpanan akan menjadi data pengukuran untuk mencari total *heat loss* pada masing-masing tangki penyimpanan yang diujikan.

2. Dasar Teori

2.1. Pemanas Air Tenaga Surya

Pemanas air tenaga surya adalah sebuah sistem yang menggunakan energi matahari untuk memanaskan air melalui kolektor surya yang kemudian disimpan ke dalam tangki penyimpanan. Pada sistem pemanas air tenaga surya, ada yang menggunakan pompa listrik untuk mengalirkan air melalui kolektor surya dan ada juga yang tidak menggunakan pompa listrik. Pemanas air tenaga surya dapat beroperasi dalam iklim apapun. Kinerja dari pemanas air tenaga surya ini tergantung dari jumlah energi panas matahari yang tersedia maupun sistem yang digunakan [1].

2.2. Tangki Penyimpanan

Tangki penyimpanan merupakan salah satu komponen utama dari pemanas air tenaga surya yang berfungsi sebagai wadah penampung dan penyimpan air, baik itu air yang menuju kolektor dengan suhu rendah maupun air yang berasal dari kolektor yang bersuhu tinggi. Dengan adanya tangki penyimpanan ini, air panas dapat diperoleh setiap saat bila diperlukan bahkan pada malam hari, di mana matahari sedang tidak memberikan radiasinya, sehingga tangki tersebut harus dapat menyimpan panas sistem supaya tidak keluar [2].

2.3. Insulasi Termal

Insulasi termal adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas/kalor. Energi panas (kalor) bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Energi panas dapat mengalir dari benda yang bersuhu tinggi menuju benda yang suhunya lebih rendah. Jumlah energi panas yang mengalir pada tiap bahan berbeda-beda, tergantung pada sifat material yang digunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator [3].

2.4. Menghitung Parameter-parameter untuk Heat Loss pada Tangki Penyimpanan

Pada sistem pemanas air tenaga surya, temperatur air akan meningkat setelah melalui kolektor surya. Hal ini terjadi karena kolektor surya memiliki kemampuan untuk menyerap energi panas (kalor) dari matahari melalui pipa-pipa yang berada di kolektor surya. Jumlah energi panas (kalor) matahari yang diterima oleh kolektor surya dapat diukur dengan menggunakan perbedaan temperatur fluida yang mengalir. Perbedaan yang diukur yaitu temperatur fluida saat masuk dan fluida saat keluar dari kolektor surya. Jumlah energi panas (kalor) yang diterima oleh fluida pada kolektor surya bergantung pada laju aliran massa yang digunakan, kalor jenis dari fluida yang digunakan, dan perbedaan temperatur fluida saat masuk dan keluar dari kolektor surya yang ditunjukkan pada persamaan berikut. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah energi panas (kalor) yang diterima fluida dari kolektor surya [4].

$$Q_{in} = \dot{m}\ x\ c_p\ x\ \Delta T_{Collector}\ x\ \Delta t \qquad (3.1)$$

Dimana:

Q_{in} = Jumlah kalor yang diterima fluida dari kolektor surya (J).

$\dot{m}$ = Laju aliran massa fluida yang masuk ke kolektor surya (kg/s).

c_p = Kalor jenis fluida (J/kg.°C).
$\Delta T_{Collector}$ = Selisih temperatur fluida saat masuk ke kolektor dan keluar dari kolektor (°C).
Δt = Selisih waktu (s)

Untuk kasus dimana parameter yang diketahui adalah temperatur fluida saat masuk dan keluar dari tangki penyimpanan, maka dapat berlaku juga bahwa temperatur fluida saat masuk ke tangki penyimpanan sama dengan temperatur fluida saat keluar dari kolektor surya dan temperatur fluida saat keluar dari tangki penyimpanan sama dengan temperatur fluida saat masuk ke kolektor surya. Hal ini karena kolektor surya dan tangki penyimpanan saling berhubungan satu sama lain. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah energi panas (kalor) yang diterima fluida dari kolektor surya jika parameter yang diketahui adalah temperatur fluida saat masuk dan keluar dari tangki penyimpanan.

$$Q_{in} = \dot{m}\ x\ c_p\ x\ \Delta T_{Storage\ Tank}\ x\ \Delta t \qquad (3.2)$$

Dimana:
Q_{in} = Jumlah kalor yang diterima fluida dari kolektor surya (J).
$\dot{m}$ = Laju aliran massa fluida yang masuk ke tangki penyimpanan (kg/s).
c_p = Kalor jenis fluida (J/kg.°C).
$\Delta T_{Storage\ Tank}$ = Selisih temperatur fluida saat masuk ke tangki penyimpanan dan keluar dari tangki penyimpanan (°C).
Δt = Selisih waktu (s)

Setelah fluida mengalir melalui kolektor surya, fluida akan mengalir menuju tangki penyimpanan dan bercampur dengan fluida yang berada didalam tangki penyimpanan. Setelah itu, fluida yang berada didalam tangki penyimpanan akan menyerap kalor dari fluida yang mengalir dari kolektor surya sehingga fluida yang berada didalam tangki penyimpanan akan mengalami kenaikan temperatur. Jumlah energi panas (kalor) yang diserap oleh fluida yang berada didalam tangki penyimpanan bergantung pada massa fluida yang berada didalam tangki penyimpanan, kalor jenis dari fluida yang digunakan, dan perubahan temperatur awal dan akhir pada fluida yang berada didalam tangki penyimpanan. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah energi panas (kalor) yang diserap oleh fluida yang berada didalam tangki penyimpanan [4].

$$Q_{Serap} = m\ x\ c_p\ x\ \Delta T \qquad (3.3)$$

Dimana :
Q_{Serap} = Jumlah kalor yang diserap oleh fluida didalam tangki penyimpanan (J)
m = Massa fluida yang berada didalam tangki penyimpanan (kg)
c_p = Kalor jenis fluida (J/kg.°C).
ΔT = Perubahan temperatur awal dan akhir pada fluida didalam tangki penyimpanan (°C).

Selama temperatur fluida yang berada didalam tangki penyimpanan mengalami peningkatan, kalor yang berada didalam tangki penyimpanan akan berpindah ke luar sistem pemanas air tenaga surya. Hal ini terjadi karena temperatur udara yang berada diluar sistem pemanas air tenaga surya lebih rendah daripada temperatur fluida yang berada didalam tangki penyimpanan sehingga terjadi heat loss (kalor yang terbuang) pada tangki penyimpanan. Jumlah energi panas (kalor) yang terbuang pada tangki penyimpanan diperoleh dari hasil pengurangan antara jumlah kalor yang diterima fluida dari kolektor surya (Q_{in}) dan jumlah kalor yang diserap oleh fluida didalam tangki penyimpanan (Q_{Serap}). Berikut merupakan persamaan untuk menentukan jumlah energi panas (kalor) yang terbuang pada tangki penyimpanan [4].

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{Serap} \qquad (3.4)$$

Dimana :
Q_{loss} = Jumlah kalor yang terbuang pada tangki penyimpanan (J)
Q_{in} = Jumlah kalor yang diterima fluida dari kolektor surya (J).
Q_{Serap} = Jumlah kalor yang diserap oleh fluida didalam tangki penyimpanan (J)

3. Metode Penelitian

3.1. Cara Kerja Sistem

Sistem pemanas air berbasis surya tersebut memiliki urutan kerja sebagai berikut. Air yang berada di tangki penyimpanan mengalir melewati kolektor surya dengan bantuan pompa air. Pada bagian dalam kolektor surya terdapat pipa yang dilapisi pelat metal hitam yang bertujuan agar panas matahari yang diterima kolektor surya dapat terserap dengan baik dan panas yang terserap tersebut akan dialirkan menuju pipa sehingga air yang mengalir melalui pipa tersebut akan mengalami peningkatan suhu. Setelah melewati kolektor surya, air tersebut langsung dialirkan ke tangki penyimpanan. Tangki penyimpanan yang telah dimodifikasi berupa tambahan lapisan insulasi, akan digunakan pada sistem pemanas air berbasis surya ini. Setelah itu, air yang sudah berada di tangki penyimpanan akan dialirkan kembali ke kolektor surya. Langkah-langkah tersebut dilakukan terus-menerus hingga didapatkan air panas dengan suhu yang diinginkan.

3.2. Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk membuat pemanas air tenaga surya.

1. Kolektor Surya
   Kolektor surya yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :
   - Ukuran kolektor surya : 0,87 x 0,59 m
   - Bahan pipa : Tembaga
   - Bahan pelat absorber : Tembaga
   - Bahan isolasi termal : Kayu
   - Bahan penutup kolektor surya : Kaca

2. Tangki Penyimpanan
   Tangki penyimpanan ini memiliki dimensi panjang 50 cm dan diameter 20 cm yang terbuat dari *Stainless Steel*. Tangki penyimpanan ini akan dipasang bahan insulasi yang bertujuan untuk mencegah terjadinya *heat loss* agar hasil dari pemanasan air menjadi lebih optimal.

3. Pompa Aquarium
   Pompa Aquarium yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :
   - Tegangan : 220 Volt
   - Daya pompa : 25 Watt
   - Debit aliran maksimum : 1600 liter/jam
   - Ketinggian aliran maksimum : 1,5 m

4. Rotameter (Flowmeter)
   Jenis flowmeter yang digunakan pada alat pemanas air berbasis surya ini adalah Rotameter. Fungsi dari rotameter ini adalah untuk mengukur debit air. Rotameter ini juga dilengkapi dengan katup (valve) yang berfungsi untuk mengatur debit air.

5. Sensor *Thermocouple* tipe K dan Data Logger HE804
   Alat pengukuran yang digunakan pada pengujian ini adalah sensor *Thermocouple* tipe K (Sensor Temperatur) dan Data logger HE 804. Fungsi dari sensor *Thermocouple* tipe K adalah untuk mengukur temperatur air. Sensor Thermocouple tipe K akan dipasang di tiga titik yaitu jalur masuk tangki penyimpanan, didalam tangki penyimpanan dan jalur keluar tangki penyimpanan. Data logger HE 804 digunakan sebagai alat pembaca data dari sensor Thermocouple tipe K agar dapat mengetahui data temperatur air terhadap waktu pada tangki penyimpanan.

6. Bahan Insulasi.
   Bahan insulasi adalah bahan yang digunakan untuk melapisi bagian luar tangki penyimpanan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya *heat loss*. Bahan insulasi yang digunakan memiliki ketebalan 2 cm. Bahan insulasi yang digunakan untuk melapisi bagian luar tangki penyimpanan ini adalah sebagai berikut :
   1) *Armaflex*.
   2) Busa.
   3) *Ceramic Fiber*.
   4) *Glasswool*.
   5) Kapas.
   6) Kapuk.
   7) *Plasticine*.
   8) *Polyfoam*.
   9) *Rockwool*.
   10) *Styrofoam*.

3.3. Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini terbagi menjadi dua macam, yaitu pengujian tangki penyimpanan tanpa bahan insulasi dan dengan menggunakan bahan insulasi. Karena pada sistem pemanas air berbasis surya ini hanya menggunakan satu tangki penyimpanan, maka pengujian ini akan dilakukan secara bergantian. Selain memvariasikan bahan insulasi, pada pengujian sistem ini juga akan memvariasikan laju aliran air agar dapat diketahui pengaruh laju

aliran air terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan dengan insulasi untuk sistem pemanas air berbasis surya. Pada pengujian sistem ini, sumber energi panas yang digunakan berasal dari lampu bohlam Infrared.

Pada tahap pengambilan data, data yang akan diambil berupa temperatur air saat masuk ke tangki penyimpanan, temperatur air didalam tangki penyimpanan dan temperatur air saat keluar dari tangki penyimpanan. Pengambilan data ini akan dilakukan selama 5 jam dan diambil datanya setiap satu menit sekali. Setelah itu, data-data yang dihasilkan dari pengujian sistem akan dirumuskan sehingga dapat diketahui jumlah kalor yang terbuang (*heat loss*) pada masing-masing tangki penyimpanan yang diujikan.

4. Hasil dan Analisis

4.1. Pengambilan Data Temperatur Air pada Tangki Penyimpanan

Pada tahap pengambilan data temperatur air ini terbagi menjadi dua macam, yaitu pada tangki penyimpanan tanpa bahan insulasi dan dengan menggunakan bahan insulasi. Jumlah variasi bahan insulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 10 macam. Pada tahap ini juga dilakukan dengan tiga variasi debit air, yaitu pada variasi debit air sebesar 150 ml/menit, 300 ml/menit, dan 450 ml/menit. Hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kalor yang terbuang (*Heat Loss*) yang paling besar diantara variasi debit air yang diberikan. Pada tahap pengambilan data ini, data yang akan diambil dan ditampilkan pada grafik berupa temperatur air saat masuk ke tangki penyimpanan (grafik berwarna hitam), temperatur air didalam tangki penyimpanan (grafik berwarna merah) dan temperatur air saat keluar dari tangki penyimpanan (grafik berwarna biru). Pengambilan data ini akan dilakukan selama 5 jam dan diambil datanya setiap satu menit sekali. Berikut merupakan hasil pengambilan data temperatur air pada tangki penyimpanan pada setiap bahan insulasi dan debit air yang digunakan.

1. *Armaflex*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27 °C, temperatur akhir sebesar 52,6 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,6 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,2 °C, temperatur akhir sebesar 52,4 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,2 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,9 °C, temperatur akhir sebesar 51,9 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25 °C.

2. Busa
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 28 °C, temperatur akhir sebesar 53,5 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,5 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,6 °C, temperatur akhir sebesar 53,8 °C dan selisih temperatur awal dan akhir sebesar 26,2 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 28 °C, temperatur akhir sebesar 54,2 °C dan selisih temperatur awal dan akhir sebesar 26,2 °C.

3. *Ceramic Fiber*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 25,6 °C, temperatur akhir sebesar 50,5 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,9 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26.5 °C, temperatur akhir sebesar 52,2 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,7 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26.3 °C, temperatur akhir sebesar 51,7 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,4 °C.

4. *Glasswool*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 25.7 °C, temperatur akhir sebesar 52,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 26,6 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 25.2 °C, temperatur akhir sebesar 52,2 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 27 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27 °C, temperatur akhir sebesar 51,6 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,6 °C.

5. Kapas
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,1 °C, temperatur akhir sebesar 52,5 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,4 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,3 °C, temperatur akhir sebesar 52 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,7 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,4 °C, temperatur akhir sebesar 52,2 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,8 °C.

6. Kapuk
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27 °C, temperatur akhir sebesar 51,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,3 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,2 °C, temperatur akhir sebesar 51,8 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,6 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,6 °C, temperatur akhir sebesar 50,7 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 23,1 °C.

7. *Plasticine*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,1 °C, temperatur akhir sebesar 47,1 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 20 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,1 °C, temperatur akhir sebesar 49,5 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 22,4 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,7 °C, temperatur akhir sebesar 48,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 21,6 °C

8. *Polyfoam*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27 °C, temperatur akhir sebesar 51,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,3 °C. Pada 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,6 °C, temperatur akhir sebesar 51,1 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,5 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,2 °C, temperatur akhir sebesar 51,9 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,7 °C.

9. *Rockwool*
   Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,4 °C, temperatur akhir sebesar 50,9 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 24,5 °C. Pada 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,5 °C, temperatur akhir sebesar 51 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 23,5 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,5 °C, temperatur akhir sebesar 52,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,8 °C.

10. *Styrofoam*
    Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27 °C, temperatur akhir sebesar 53,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 26,3 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 26,6 °C, temperatur akhir sebesar 52,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 25,7 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,1 °C, temperatur akhir sebesar 53,7 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 26,6 °C.

11. Tanpa Insulasi
    Pada debit 150 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 28,7 °C, temperatur akhir sebesar 49 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 20,3 °C. Pada debit 300 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,9 °C, temperatur akhir sebesar 50,3 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 22,4 °C. Pada debit 450 ml/min, temperatur air dalam tangki penyimpanan ini memiliki temperatur awal sebesar 27,7 °C, temperatur akhir sebesar 50.6 °C dan selisih antara temperatur awal dan akhir sebesar 22,9 °C.

4.2. Perhitungan *Heat Loss* pada Tangki Penyimpanan

Perhitungan *Heat Loss* pada tangki penyimpanan dilakukan untuk mengetahui jumlah kalor yang terbuang pada tangki penyimpanan di sistem pemanas air berbasis surya. Pada tahap ini, perbandingan perhitungan heat loss akan terbagi menjadi dua macam, yaitu perbandingan *heat loss* berdasarkan bahan insulasi yang digunakan dan perbandingan *heat loss* berdasarkan debit air yang digunakan. Perbandingan perhitungan *heat loss* ini dilakukan untuk mengetahui tangki penyimpanan dan debit air yang digunakan yang memiliki jumlah kalor yang terbuang paling sedikit. Setelah melalui tahap pengambilan data, hasil data temperatur akan diolah dengan menggunakan persamaan (3.1) sampai dengan persamaan (3.3), sehingga diperoleh jumlah kalor yang terbuang secara keseluruhan pada masing-masing tangki penyimpanan dan debit yang digunakan. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan heat loss secara keseluruhan pada masing-masing tangki penyimpanan dan debit yang digunakan.

Tabel 4.1 Data Perbandingan Total Q_{loss} Berdasarkan Debit Air pada 150 ml/min

Total Q_{loss} pada Debit 150 ml/min		
No	**Bahan Insulasi**	**Total Q_{loss} (J)**
1	*Rockwool*	705579
2	*Styrofoam*	778029
3	*Armaflex*	807429
4	Kapuk	861966
5	*Glasswool*	1155777
6	*Polyfoam*	1278585
7	Busa	1285515
8	Kapas	1313655
9	*Ceramic fiber*	1360863
10	*Plasticine*	1538187
11	Tanpa Insulasi	1591611

Tabel 4.2 Data Perbandingan Total Q_{loss} Berdasarkan Debit Air pada 300 ml/min

Total Q_{loss} pada Debit 300 ml/min		
No	**Bahan Insulasi**	**Total Q_{loss} (J)**
1	*Rockwool*	2032464
2	*Armaflex*	2067534
3	*Polyfoam*	2210712
4	Kapas	2364978
5	Kapuk	2384046
6	Busa	2389674
7	*Ceramic Fiber*	2407650
8	*Styrofoam*	2435370
9	*Glasswool*	2476530
10	Tanpa Insulasi	2739912
11	*Plasticine*	3415398

Tabel 4.3 Data Perbandingan Total Qloss Berdasarkan Debit Air pada 450 ml/min

Total Q_{loss} pada Debit 450 ml/min		
No	**Bahan Insulasi**	**Total Q_{loss} (J)**
1	*Armaflex*	2942121
2	Kapas	3032799
3	*Styrofoam*	3038280
4	*Rockwool*	3153024
5	Kapuk	3198762
6	*Ceramic Fiber*	3232320
7	*Glasswool*	3450069
8	*Polyfoam*	3450279
9	Busa	3562104
10	Tanpa Insulasi	3890649
11	*Plasticine*	3907953

Tabel 4.4 Data Perbandingan Total Qloss Berdasarkan Bahan Insulasi yang digunakan

No	Bahan Insulasi	Total Qloss (J)		
		150 ml/min	300 ml/min	450 ml/min
1	Armaflex	807429	2067534	2942121
2	Busa	1285515	2389674	3562104
3	Ceramic Fiber	1360863	2407650	3232320
4	Glasswool	1155777	2476530	3450069
5	Kapas	1313655	2364978	3032799
6	Kapuk	861966	2384046	3198762
7	Plastisin	1538187	3415398	3907953
8	Polyfoam	1278585	2210712	3450279
9	Rockwool	705579	2032464	3153024
10	Styrofoam	778029	2435370	3038280
11	Tanpa Insulasi	1591611	2739912	3890649

Tabel 4.1 sampai tabel 4.3 merupakan data perbandingan nilai total Qloss berdasarkan debit air yang digunakan. Tabel ini membandingkan hasil data perhitungan nilai total Qloss diantara semua bahan insulasi yang digunakan pada tangki penyimpanan dengan besar debit air yang sama. Dari Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa data pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi *Rockwool, Styrofoam,* dan *Armaflex* memiliki nilai total Qloss paling kecil daripada dengan menggunakan bahan insulasi yang lain. Dari Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa data pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi *Rockwool, Armaflex* dan *Polyfoam* memiliki nilai total Qloss paling kecil daripada dengan menggunakan bahan insulasi yang lain. Dari Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa data pada tangki penyimpanan dengan bahan insulasi *Armaflex*, Kapas dan *Styrofoam* memiliki nilai total Qloss paling kecil daripada dengan menggunakan bahan insulasi yang lain. Dari tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.3 ini menunjukkan bahwa menggunakan *Rockwool* dan *Armaflex* sebagai bahan insulasi untuk tangki penyimpanan memiliki jumlah kalor yang terbuang (*heat loss*) lebih sedikit daripada menggunakan bahan insulasi yang lain, sehingga temperatur air pada tangki penyimpanan tetap terjaga dan tidak mudah mengalami penurunan temperatur.

Tabel 4.4 merupakan data perbandingan nilai total Qloss berdasarkan bahan insulasi yang digunakan. Tabel ini memiliki tiga jenis debit air pada masing-masing data, yaitu debit air 150 ml/min, 300 ml/min, dan 450 ml/min. Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa data yang memiliki debit air sebesar 150 ml/min memiliki nilai total Qloss paling kecil daripada data dengan debit air sebesar 300 ml/min dan 450 ml/min. Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan debit air yang rendah memiliki jumlah kalor yang terbuang (heat loss) lebih sedikit daripada menggunakan debit air yang tinggi, sehingga temperatur air pada tangki penyimpanan tetap terjaga dan tidak mudah mengalami penurunan temperatur.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengujian heat loss pada tangki penyimpanan dengan menggunakan debit air sebesar 150 ml/min memiliki jumlah kalor yang terbuang (heat loss) lebih sedikit daripada menggunakan debit air sebesar 300ml/min dan 450 ml/min sehingga semakin rendah debit air yang digunakan, maka temperatur air pada tangki penyimpanan lebih terjaga dan tidak mudah mengalami penurunan temperatur.
2. Pengujian heat loss pada tangki penyimpanan dengan menggunakan bahan insulasi Rockwool dan Armaflex sebagai bahan insulasi untuk tangki penyimpanan memiliki jumlah kalor yang terbuang (heat loss) lebih sedikit daripada menggunakan bahan insulasi yang lain, sehingga tangki penyimpanan dengan menggunakan bahan insulasi tersebut sangat direkomendasikan agar temperatur air pada tangki penyimpanan lebih terjaga dan tidak mudah mengalami penurunan temperatur.

Daftar Pustaka

[1] Solar Water Heating. National Renewable Energy Laboratory. [Online] Maret 1996. [Dikutip: 19 Oktober 2016.] http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy96/17459.pdf.

[2] Hartono Budi Santoso, Agung Harjatmo, Arya Wulung, Suwidodo. Pembuatan Solar Collector Sistem Siklus Terbuka Dengan Alat Kontrol Berbasiskan Mikrokontroller ATMEGA 8535. Yogyakarta : IST AKPRIND Yogyakarta, 2008.

[3] Bergman, Lavine, Incropera, DeWitt. Introduction to Heat Transfer (sixth edition). New York : Wiley, 2011.

[4] Cengel, Yunus A. Heat Transfer : A Practical Approach Second Edition. New York : Mcgraw-Hill, 2003.