

PERANCANGAN SOLAR WATER HEATER JENIS PLAT DATAR TEMPERATUR MEDIUM UNTUK APLIKASI PENGHANGAT AIR MANDI

Subur Edi Sudrajat¹, Irfan Santosa²

Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal
Jalan Halmahera KM.1 Tegal

¹⁾soeboer_javanese@yahoo.com, ²⁾irfan@upstegal.ac.id/ci_ulya@yahoo.co.id

ABSTRACT

The need of warm water for bathing purposes for household and hospitality scale is very important. All this time those needs are fulfill with hot water heated by furnace and heating using electricity. One alternative to fulfill the hot water needs is to use solar media as energy supply.

Based on the background described the problem to be studied are: Calculating the length of the heating pipe specifications required on the solar water heater out so that the water temperature reaches 45^oC and Designing also making solar water heater Flat plate collectors are able to produce water temperature 45^oC.

Based on the test results, that the length of the heating pipe is needed to make a solar water heater with the water exit temperature (T_{out}) 45^oC is 1.63 m, made of a type of copper 0.5 inch diameter and some testing of solar water heater able to work as expected with reaches a minimum temperature of the water out 45^oK (318^o K) where the average temperature - average obtained is 52^oC (325^o K) and declare technical feasibility tool.

Keywords : Heating Pipe, Solar Water Heater, Water Temperature, Shower Water Heater

INTISARI

Kebutuhan air hangat untuk keperluan mandi, baik untuk skala rumah tangga maupun skala perhotelan sangatlah penting. Selama ini kebutuhan tersebut terpenuhi dengan air panas yang dipanaskan dengan tungku maupun pemanasan menggunakan listrik. Salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan air panas adalah dengan menggunakan media surya sebagai *supply* energinya.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka permasalahan yang akan diteliti adalah: Menghitung spesifikasi panjang pipa pemanas yang dibutuhkan pada *solar water heater* (SWH) supaya suhu air keluar mencapai 45^oC dan Merancang dan membuat *solar water heater* kolektor plat datar yang mampu menghasilkan temperatur air 45^oC.

Berdasarkan hasil penelitian menyimpulkan panjang pipa pemanas keseluruhan untuk membuat *solar water heater* dengan temperatur air keluar (T_{out}) 45^oC adalah 1,63 m, dan terbuat dari bahan jenis tembaga, berdiameter 0,5 inchi dan beberapa pengujian solar water heater mampu bekerja sesuai harapan dengan mencapai temperatur minimal air keluar 45^oC (318 K), dimana temperatur rata – rata selama pengujian adalah 52^oC (325) K dan dengan demikian alat dinyatakan layak secara teknis

Kata kunci : *Pipa pemanas, Solar Water Heater, Temperatur air, penghangat air mandi*

PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan air hangat untuk keperluan mandi, baik untuk skala rumah tangga maupun skala perhotelan sangatlah penting. Selama ini kebutuhan tersebut terpenuhi dengan air panas yang dipanaskan dengan tungku maupun pemanasan menggunakan listrik. Salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan air panas adalah dengan menggunakan media surya sebagai *supply* energinya. Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, dapat dikembangkan dengan menggunakan pengumpul – pengumpul panas yang biasa disebut kolektor, salah

satunya adalah kolektor pemanas air.(Nurhalim, 2011). Adapun pemanas air yang menggunakan energi surya disebut *Solar Water Heater* (SWH) yaitu pemanas air yang memanfaatkan kolektor plat datar dimana terdapat pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/menkes/sk/xi/2002 standar temperatur air panas untuk keperluan mandi dan mencuci tangan adalah 40 – 45^oC, maka *solar water heater* harus mencapai suhu

tersebut, berikut dibawah ini adalah tabel suhu standar penggunaan air untuk :

keperluan rumah tangga

Tabel 1. Suhu Standar Penggunaan Air Untuk Keperluan Rumah Tangga (Sumber: Nurhalim, 2011)

NO	JENIS PEMAKAIAN	TEMPERATUR (°C)
1	Minum	50 – 55
2	Mandi : Dewasa	42 – 45
	Mandi : Anak – Anak	40 – 42
3	Pancuran Mandi	40 -43
4	Cuci Muka Dan Tangan	40 – 42
5	Cuci Tangan Untuk Pengobatan	43
6	Bercukur	46 – 52
7	Dapur :	
	Macam – Macam Keperluan	45
	Pencucian Mesin Cuci	45 -60
	Pembilasan Mesin Cuci	70 – 80
8	Cuci Pakaian :	
	Macam – Macam Pakaian	60
	Bahan Sutra Dan Wol	33 – 49
	Bahan Linen Dan Katun	49 -60
9	Kolam Renang	21 -27
10	Cuci Mobil	24 -30

Pipa-pipa pada kolektor surya merupakan peralatan yang penting pada alat *Solar Water Heater* (SWH) ini karena pipa merupakan media pemindah panas konduksi dan konveksi dari panas matahari sekaligus tempat untuk aliran air dari temperatur rendah sampai ke temperatur air panas yang diinginkan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka permasalahan yang akan diteliti adalah:

1. Menghitung spesifikasi panjang pipa pemanas yang dibutuhkan pada *solar water heater* (SWH) supaya suhu air keluar mencapai 45°C.
2. Merancang dan membuat solar water heater kolektor plat datar yang mampu menghasilkan temperatur air 45°C

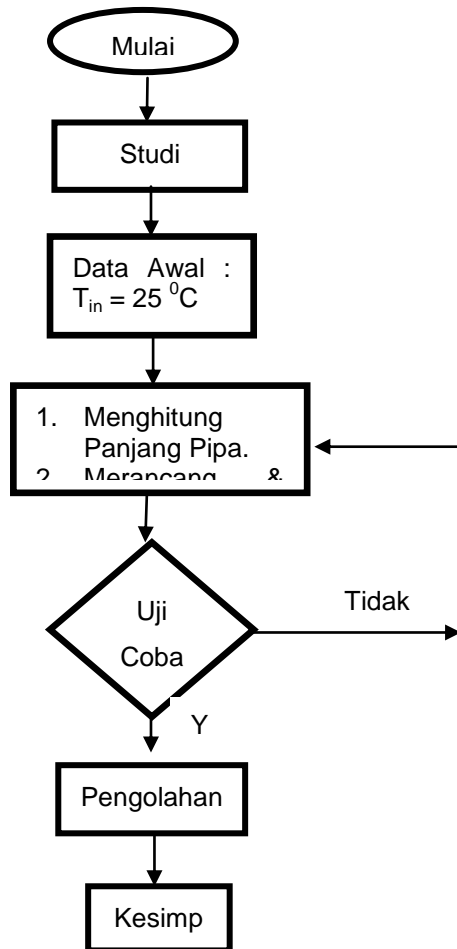
Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kebutuhan panjang pipa pemanas yang dibutuhkan.
2. Membuat *solar water heater* dengan kolektor plat datar.

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui kebutuhan panjang pipa pemanas supaya temperatur air keluar bisa tercapai.
2. Memanfaatkan alat *solar water heater* dengan tenaga surya sebagai pemanas air untuk kebutuhan mandi.

Penelitian yang akan dilakukan dibuat diagram alur untuk memudahkan proses pengerjaan penelitian dari awal sampai akhir pengerjaan.



Gambar.1. Metodologi Penelitian

1. Basri (2011) Pada Jurnal Mekanikal, Vol. 2 No. 1: Januari 2011: 16 – 22 ISSN 2086 – 3403, yang berjudul Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Rata-rata Pada Pipa Kapiler di Mesin Refrigerasi Focus 808, diperoleh hasil hubungan antara laju aliran massa refrigerant dengan koefisien perpindahan panas rata-rata pada pipa bahwa koefisien perpindahan panas rata – rata makin besar seiring dengan makin besarnya laju aliran massa refrigerant. Hal ini terjadi karena jika laju aliran massa refrigerant bertambah, berarti kecepatan rata – rata aliran refrigerant juga bertambah yang menyebabkan koefisien perpindahan panas rata – ratanya juga bertambah. Akibat dari bertambahnya kecepatan rata – ratanya, maka percampuran antara refrigerant panas dengan refrigerant

dingin makin cepat sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas rata – ratanya. Hal ini menunjukkan bahwa makin cepat percampuran antara fluida panas dengan fluida dingin akan menambah perpindahan panas yang terjadi akibatnya terjadi kenaikan koefisien perpindahan panas.

2. Pada penelitian yang dilakukan oleh Philip Kristanto dan Yoe Kiem San yang tertuang dalam Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 2, Oktober 2001: 47 – 51 dengan judul penelitian Pengaruh Tebal Plat Dan Jarak Antar Pipa Terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar, di simpulkan bahwa semakin tebal plat penyerap dan semakin rapat jarak antar pipa, maka semakin besar efisiensi sirip kolektor. Hal ini terjadi pada jarak antar pipa 73.6 mm dengan ketebalan plat penyerap 1.2 mm dengan efisiensi sirip 99.53 %.
3. Budiman Sudia “ *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* ” Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Haluoleo, Kendari. Jurnal yang berjudul “ *Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Menggunakan Konsentrator Dua Cermin Datar* ”. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah : Penggunaan konsentrator dua cermin datar akan meningkatkan energi berguna kolektor. Untuk kolektor yang menggunakan cermin energi berguna rata-rata = 507.8 Watt sedangkan kolektor tanpa cermin energi berguna rata-rata = 351.8 Watt. Hal ini menjadi pertimbangan bahwa penggunaan dua cermin datar terhadap energi berguna pada kolektor pemanas air, ternyata dapat meningkatkan energi berguna kolektor.

Jenis – Jenis Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan suatu bagian dari peralatan yang dibutuhkan untuk mengubah energi radiasi matahari ke bentuk energi panas untuk berbagai keperluan, misalnya sebagai pemanas air. Salah satu bentuk dari kolektor surya adalah bentuk prisma yang memiliki kemampuan untuk menerima intensitas radiasi matahari dari segala posisi matahari, sehingga diharapkan pemanfaatan energi tersebut sebagai

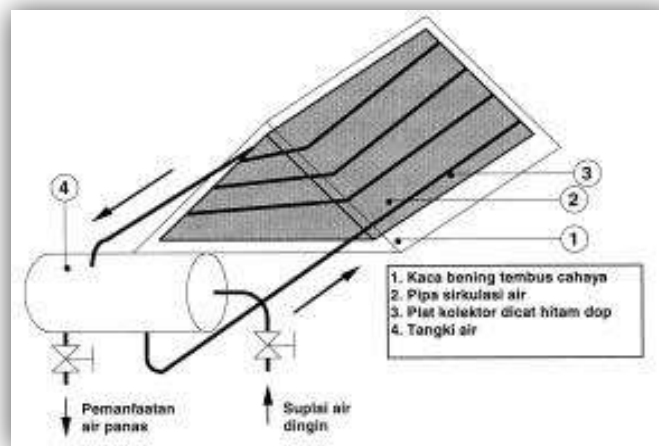
pemanas air dapat lebih efektif. Kolektor surya akan menyerap energi dari radiasi matahari dan mengkonversikannya menjadi panas yang berguna untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa kolektor, sehingga suhu air akan meningkat dan terjadi konveksi alami berdasarkan efek termosipon karena adanya perbedaan masa jenis fluida.(James Laeyadi, 2000).

a. Kolektor Surya Prismatik

Keunggulan dari kolektor surya tipe prismatik ini adalah kemampuannya untuk dapat menerima energi radiasi matahari dari segala posisi matahari. Kolektor surya tipe prismatik dapat digolongkan dalam kolektor plat datar dengan permukaan kolektor berbentuk prisma yang tersusun dari 4 bidang yang membentuk prisma, 2 bidang berbentuk segi-tiga sama kaki dan dua bidang yang lain berbentuk segi-empat siku-siku. Untuk mendapatkan hasil yang optimal permukaan kolektor dicat dengan warna hitam kusam yang berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang datang dan mentransfer kalor yang diterima ke fluida kerja. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konveksi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga terjadi efek rumah kaca sedangkan bagian bawah plat kolektor diberi isolator untuk meminimalisir kerugian panas pada bagian bawah plat kolektor. Sebagai titik tolak dalam melakukan perhitungan untuk mendesain kolektor surya tipe prismatik disamping data intensitas radiasi matahari pada lokasi

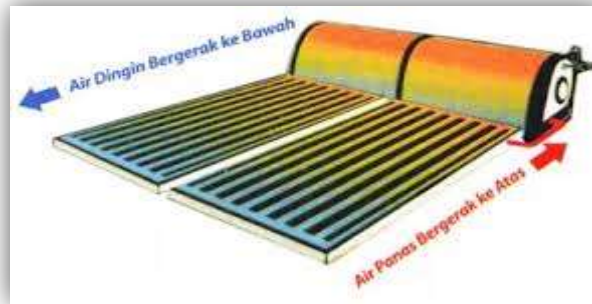
dimana kolektor tersebut ditempatkan hal terpenting lainnya adalah perhitungan geometris dari kolektor (luasan permukaan kolektor, kemiringan kolektor terhadap intensitas radiasi matahari langsung), efek termosipon pada pipa-pipa sirkulasi untuk menentukan kemampuan sistem melakukan konveksi alami, serta suhu masuk dan keluar pipa sirkulasi. Prinsip kerja dari sistem pemanas air dengan kolektor surya prismatik ini ditunjukkan dalam gambar. (James Laeyadi, 2000).

Air dingin yang berada dalam tangki penampung mengalir masuk ke kolektor melalui pipa sirkulasi dan akan mendapatkan transfer kalor baik secara konveksi maupun radiasi akibat terperangkapnya radiasi surya dalam kolektor yang dibatasi oleh plat dan kaca bening tembus cahaya. Karena adanya transfer kalor tersebut maka suhu air di dalam pipa yang ditimpa radiasi surya langsung akan lebih tinggi dibandingkan suhu air pada bagian pipa yang lain . Perbedaan suhu air di dalam pipa ini akan menimbulkan adanya perbedaan masa jenis dari air, dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki masa jenis yang lebih kecil, sehingga memiliki kecenderungan untuk bergerak ke posisi yang lebih tinggi, demikian pula air di dalam pipa yang memiliki suhu lebih rendah memiliki masa jenis yang lebih besar dan cenderung untuk bergerak ke bawah sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami. (James Laeyadi, 2000).



Gambar 2. Kolektor Surya Prismatik (James Laeyadi, 2000)

b. Kolektor Surya Plat Datar



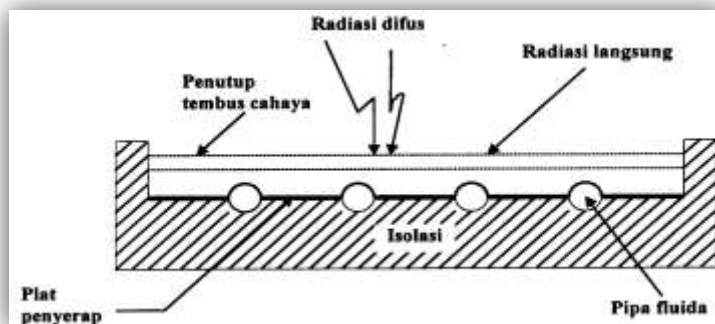
Gambar 3. Kolektor Surya Plat Datar
(Sumber : Philip Kristanto, 2001)

Kolektor surya plat datar adalah sebuah kolektor surya berbentuk memanjang, dengan kemiringan tertentu untuk menangkap energi radiasi matahari. Proses penggunaannya lebih mudah dan sederhana dibanding dengan kolektor surya prismatic.

Komponen-komponen sebuah kolektor surya plat datar terdiri dari permukaan “hitam” sebagai penyerap energi radiasi matahari yang kemudian dipindahkan ke fluida. Penutup tembus cahaya (kaca) berfungsi mengurangi efek radiasi dan konveksi yang hilang ke atmosfer. Pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan. Skema kolektor surya plat datar ditunjukkan pada gambar. Performansi kolektor dinyatakan dengan keseimbangan energi yang menggambarkan distribusi energi matahari yang datang terhadap energi

yang bermanfaat dan beberapa energi yang hilang. (Philip Kristanto, 2001).

Prinsip kerja pada solar water heater dengan menggunakan plat datar, yaitu bahwa air yang masuk kedalam kolektor melalui pipadistribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Hal ini di sebabkan energi radiasi matahari didalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa – pipa distribusi maka suhu air di dalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan masa jenis. Air yang bersuhu tinggi meilik massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan mengalir kearah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak kebawah, sehingga terjadi konveksi secara alami. (Marbun, 2009).



Gambar 4. Skema Kolektor Surya Plat datar (Sumber : Philip Kristanto, 2001)

Beda Suhu Rata – Rata Log (LMTD)

Beda Suhu Rata – Rata Log (LMTD) yaitu beda suhu pada ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satu

lagi dibagi logaritma alamiah daripada perbandingan beda suhu tersebut (Holman J.P, 1994).

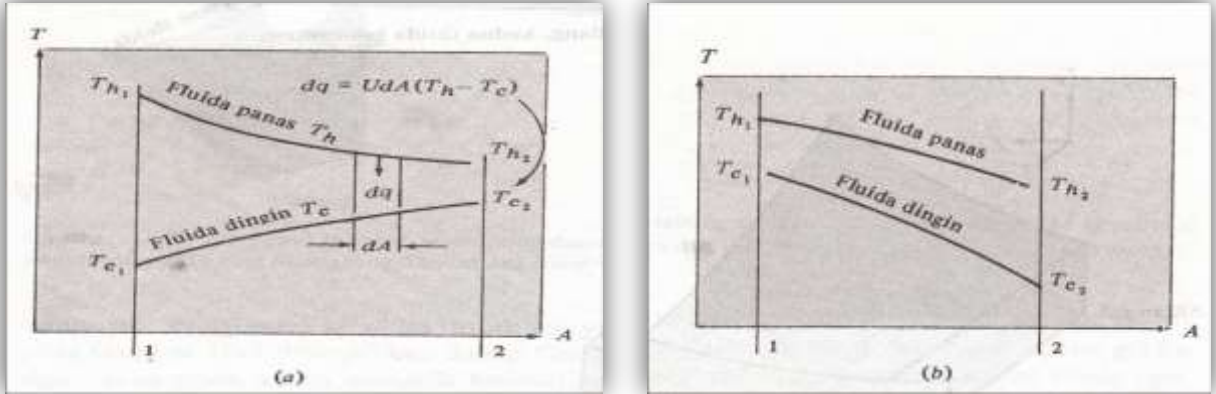
$$q = U . A . \Delta T_m \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh
W/m².K

A = Luas permukaan (m²)

ΔT_m = Beda suhu rata – rata



Gambar. 5. Profil Suhu Untuk Aliran Sejajar dan Aliran Lawan Arah
(Sumber : Holman, 1997)

Pada gambar (5a) adalah aliran pipa sejajar dan gambar (5b) adalah aliran lawan arah. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln((T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci}))} \dots \dots \dots (2)$$

Biasanya untuk memberikan koreksi atas pengaruh – pengaruh tersebut perlu digunakan metode numerik. Jika suatu alat penukar kalor yang bukan jenis pipa ganda digunakan, perpindahan kalor

digunakan dengan menerapkan faktor koreksi terhadap LMTD untuk susunan pipa ganda aliran lawan arah dengan suhu fluida panas dan suhu fluida dingin yang sama. (Holman, 1997). Persamaannya menjadi :

$$q = UAF\Delta T_m \dots \dots \dots (3)$$

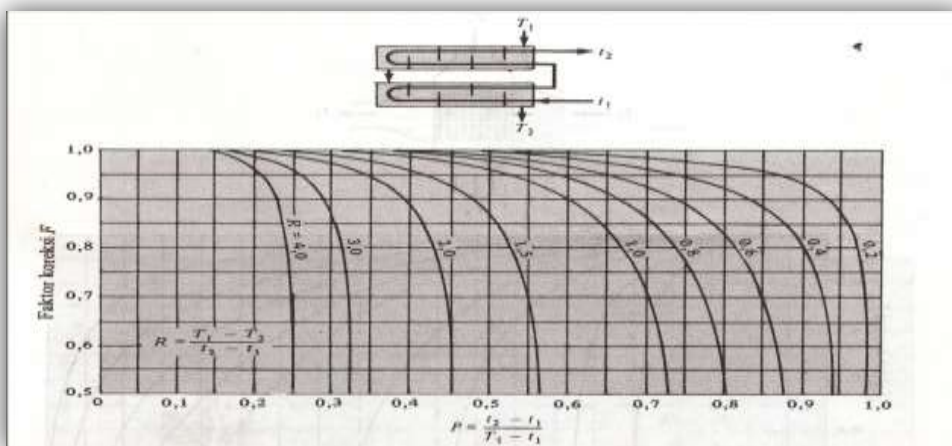
Dimana :

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh W/m².K

A = Luas permukaan (m²)

F = Faktor Koreksi

ΔT_m = Beda suhu rata – rata



Gambar 6. Grafik Faktor Koreksi untuk Penukar Kalor (Sumber : Holman, 1997)

Sedangkan besarnya laju energi panas yang diterima aliran air dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$q_c = m_c c_p (T_i - T_o) \dots\dots\dots$$

(4)

diketahui bahwa :

- m_c : Laju Aliran Massa Fluida Dingin (kg/s).
- T_i : Temperatur Aliran Fluida Dingin Masuk (°C).
- T_o : Temperatur Aliran Fluida Dingin Keluar (°C).
- C_p : Kalor Spesifik Pada Tekanan Konstan (kJ/kg. °C)

HASIL DAN PEMBAHASAN
Perhitungan Spesifikasi Pipa Yang Dipakai

Bahwa suhu air masuk pada sistem solar water heater dianggap 25 °C. Perhitungan dimulai dengan menghitung besarnya laju energi panas yang diterima oleh aliran air adalah :

$$q = m_c c_p (T_o - T_i)$$

Pada tabel Sifat – sifat fisik gas, cairan dan logam (Sumber : Holman, 1997) yang dievaluasi pada temperatur 35 °C menunjukkan data :

- $C_p = 0,997 \text{ Btu/lbm. } ^\circ\text{F}$ pada 90°F
- $C_p = 0,998 \text{ Btu/lbm. } ^\circ\text{F}$ pada 100°F

Karena 35°C = 95°F, maka C_p pada 95 °F adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{C_p \text{ 90}^\circ\text{F} + C_p \text{ 100}^\circ\text{F}}{2} \\ &= \frac{0,997 + 0,998}{2} = 0,9975 \text{ Btu/lbm}^\circ\text{F} \\ 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} &= 0,23884 \text{ Btu/lbm}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

diketahui :

$$\begin{aligned} C_p &= 0,9975 \text{ Btu/lbm. } ^\circ\text{F} \\ C_p &= \frac{0,9975}{0,23884} = 4,176 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka :

$$q = m_c c_p (T_o - T_i)$$

Diketahui :

- $m_c = 9 \text{ kg/s}$
- $T_i = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_o = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $C_p = 4,176 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} q &= m_c c_p (T_o - T_i) \\ &= 9 \times 4,176 (45 - 25) \\ &= 37,584 (20) \\ &= 751,68 \text{ Watt} \end{aligned}$$

kemudian melakukan perhitungan beda temperature rata-rata logaritmik / LMTD (ΔT_m).

$$\begin{aligned} \Delta T_m &= \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)} = \frac{45 - 25}{\ln(45/25)} \\ &= \frac{20}{0,587} = 34,071^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Bagi keperluan perhitungan perancangan, harga koefisien global perpindahan panas (U) pada tabel untuk penukar panas dari air ke air adalah :110 – 350 W/m °C.

Koefisien perpindahan panas global

$U = 110 - 350 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$.

$$A = \frac{\dot{q}}{U \cdot \Delta T_m} = \frac{751,68}{350 \times 34,071} = 0,06508 \text{ m}^2$$

Luas total perpindahan panas

$$A = \pi \cdot D_o \cdot L$$

D_o : diameter permukaan luar pipa 0,5 inchi = 1,27 cm = 0,0127 m.

L : panjang pipa

$$L = \frac{A}{\pi \cdot D_o} = \frac{0,06508}{3,14 \times 0,0127} = \frac{0,06508}{0,039878} = 1,63 \text{ m}$$

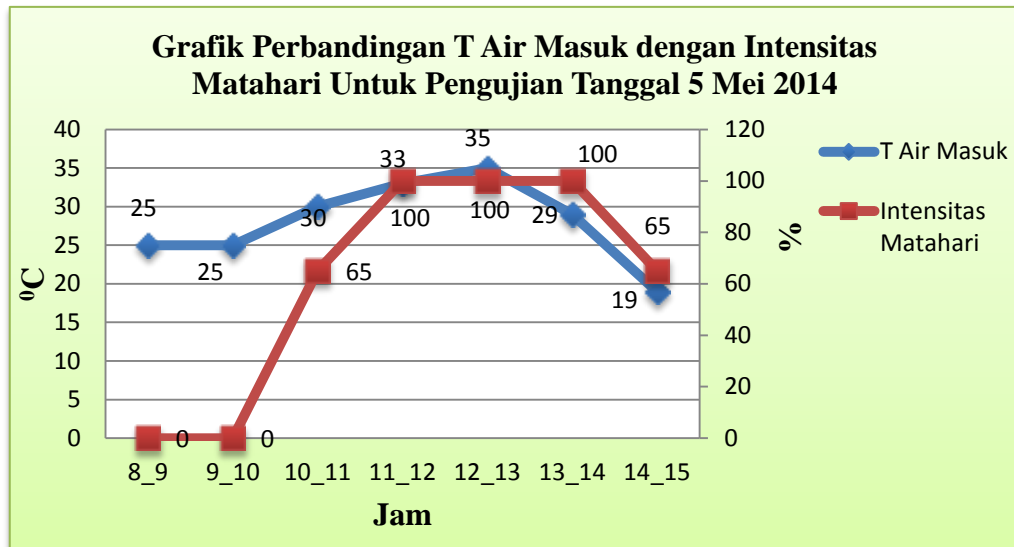
Jadi panjang Pipa yang dibutuhkan adalah sepanjang 1,63m.



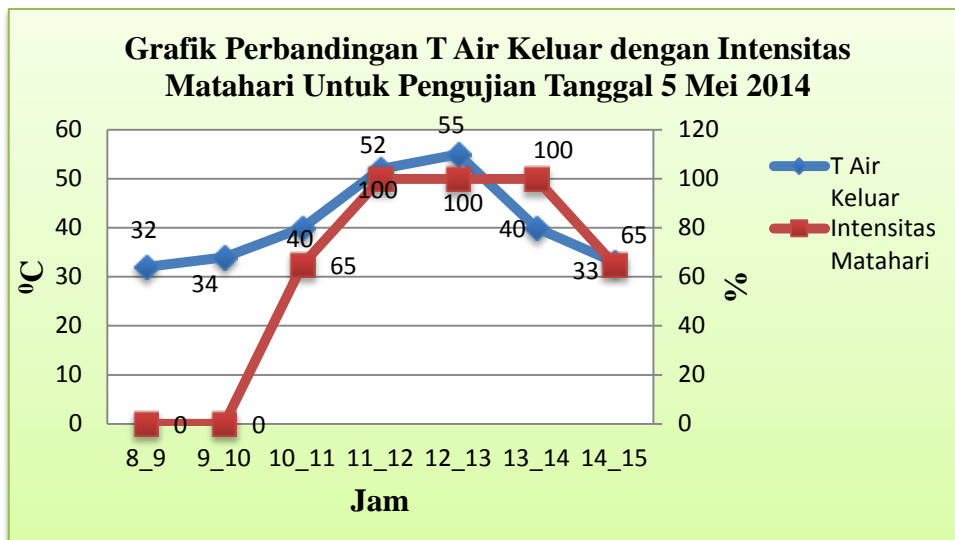
Gambar 7. Solar Water Heater

PENGUJIAN SOLAR WATER HEATER

Hasil Pengamatan *Solar Water Heater*
Tanggal 5 Mei 2014



Gambar 8. Grafik Perbandingan Tair masuk dengan Intensitas Matahari

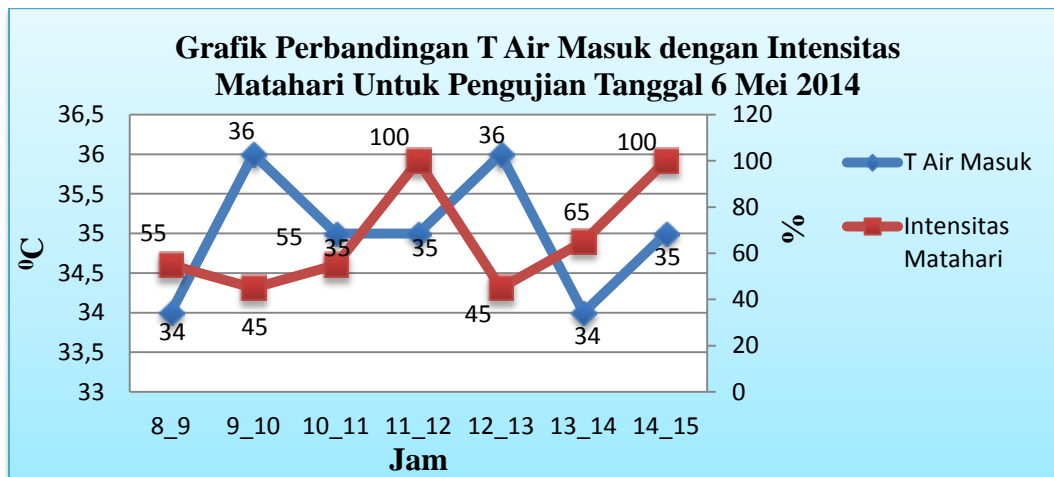


Gambar 9. Grafik Perbandingan T Air Keluar dengan Intensitas matahari

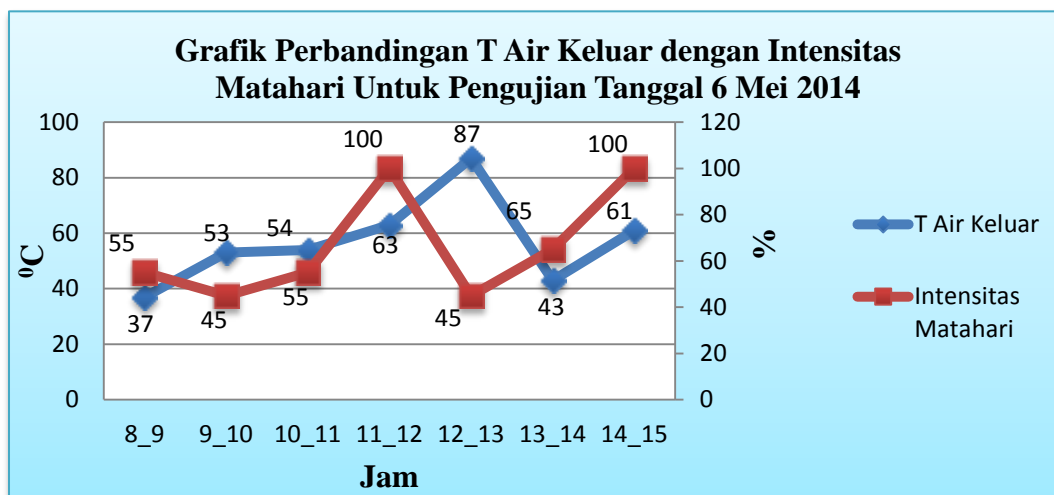
Kesimpulan pengujian tanggal 5 Mei 2014 yang dilaksanakan mulai jam 08:00 WIB sampai dengan jam 15:00 WIB adalah keadaan cuaca lebih sering mendung

sehingga temperatur air keluar yang di hasilkan *solar water heater* kurang optimal, hanya menghasilkan rata – rata temperatur air keluar 40°C.

Hasil Pengamatan Solar Water Heater Tanggal 6 Mei 2014



Gambar 10. Grafik Perbandingan Tair masuk dengan Intensitas Matahari



Gambar 11. Grafik Perbandingan T Air Keluar dengan Intensitas matahari

Kesimpulan pengujian tanggal 6 Mei 2014 yang dilaksanakan mulai jam 08:00 WIB sampai dengan jam 15:00 WIB adalah keadaan cuaca lebih sering mendung, meskipun demikian temperatur air keluar yang di hasilkan solar water heater cukup optimal, dan menghasilkan rata – rata temperatur air keluar 58,3°C.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tersebut di simpulkan bahwa :

1. Panjang pipa pemanas keseluruhan yang di butuhkan untuk membuat solar water heater dengan temperatur air keluar (T_{out}) 45°C adalah 1,63 m, dengan terbuat dari bahan jenis tembaga, berdiameter 0,5 inci.

2. Dari beberapa pengujian solar water heater mampu bekerja sesuai harapan dengan mencapai temperatur minimal air keluar 45 °C (318 K), dimana temperatur rata – rata diperoleh adalah 52 °C (325) K dan dengan demikian alat dinyatakan layak secara teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto, *Teknologi Rekayasa Surya*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
- Basri, "Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Rata-Rata Pada Pipa Kapiler Di Mesin Refrigerasi Focus 808" *Jurnal Mekanikal*, Vol. 2 No. 1:

- Januari 2011: 16 – 22, ISSN 2086 – 3403.
- J.P. Holman. *Perpindahan Kalor Edisi Enam*. Erlangga, Jakarta, 1997.
- Kristanto, Philip. James Laeyadi, “ *Kolektor Surya Prismatik* ”. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 2, No. 1, April 2000 : 22 – 28.
- Marbun, M. Nesten. *Rancang Bangun Sebuah Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar*. Karya Akhir, Jurusan Program Studi Teknologi Mekanika Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2009.
- Nurhalim, Ichwan. *Rancang Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater*. Skripsi, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- San, Yoe Kiem. Philip Kristanto, “ *Pengaruh Tebal Plat Dan Jarak Antar Pipa Terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar* ”. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 3, No. 2, Oktober 2001: 47 – 51.
- Sudia, Budiman. “ *Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Menggunakan Konsentrator Dua Cermin Datar* ”. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 1, No. 2, Mei 2010, ISSN : 2085-8817.