



**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR SURYA
DENGAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
PADA *SOLAR WATER HEATER***

SKRIPSI

Oleh

Kresna Yusuf Rouhillah

NIM 141910101094

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR SURYA
DENGAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
PADA *SOLAR WATER HEATER***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Kresna Yusuf Rouhillah

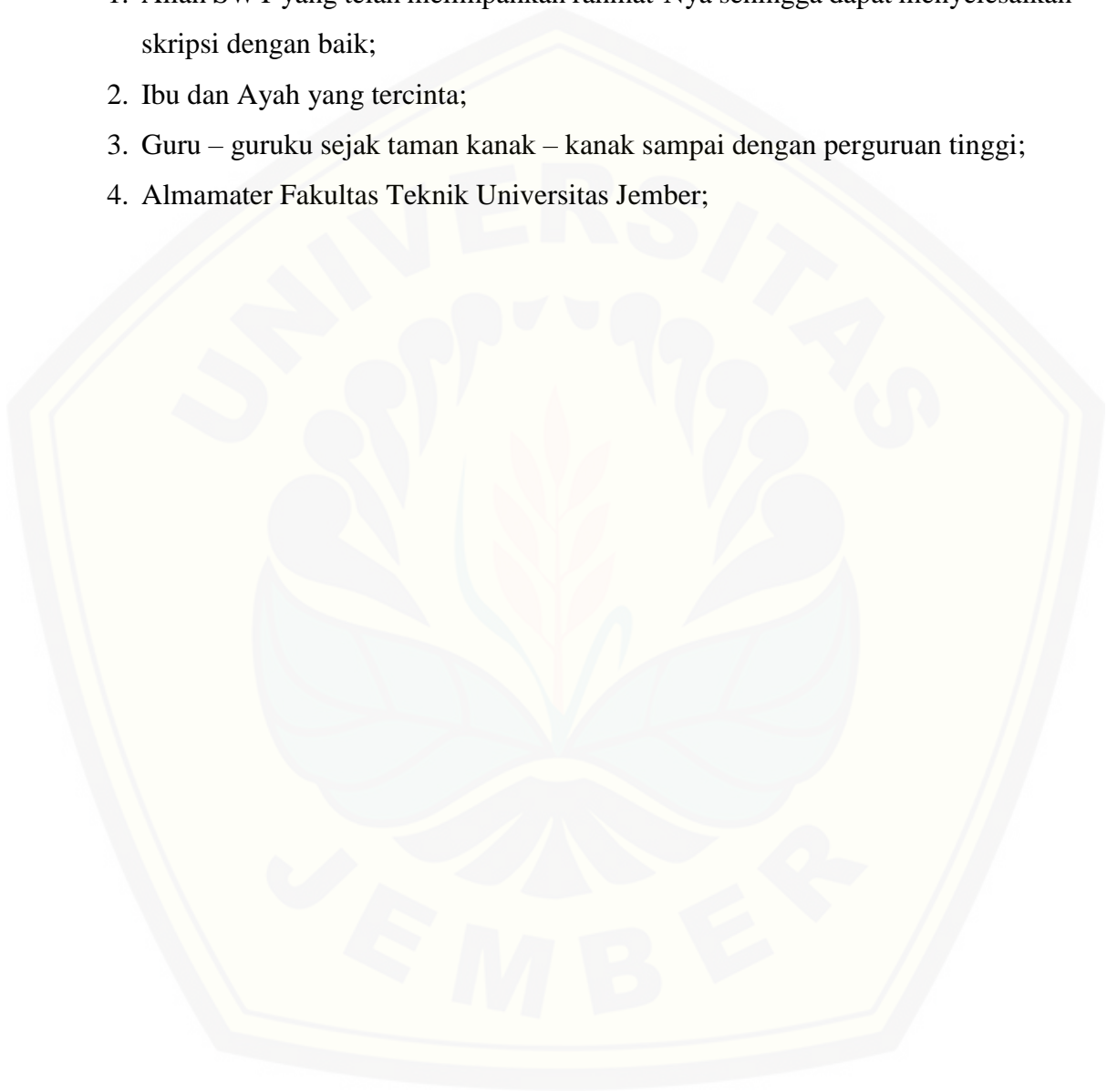
NIM 141910101094

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Ibu dan Ayah yang tercinta;
3. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;



MOTTO

“Barang siapa yang menolong kesusahan orang muslim, maka Allah ta’ala akan menolongnya dari kesusahan pada hari kiamat.”

(HR. Bukhari)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah: 5)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kresna Yusuf Rouhillah

NIM : 141910101094

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisis Performa Kolektor Surya dengan *Parabolic Concentrator* pada *Solar Water Heater*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 11 Juli 2018

Yang menyatakan,

Kresna Yusuf Rouhillah
NIM 141910101094

SKRIPSI

**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR SURYA
DENGAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
PADA *SOLAR WATER HEATER***

Oleh

Kresna Yusuf Rouhillah

NIM 141910101094

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Agus Triono, S.T, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Adib Rosyadi, S.T, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Performa Kolektor Surya dengan *Parabolic Concentrator* pada *Solar Water Heater*” karya Kresna Yusuf Rouhillah telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 11 Juli 2018

tempat : Ruang Ujian II lantai 3 Gedung Dekanat

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.

NIP 19700807 200212 1 001

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

NIP 19850117 201212 1 001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc.

NIP 19680617 199501 1 001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

NIP 19700228 199702 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Performa Kolektor Surya dengan *Parabolic Concentrator* pada *Solar Water Heater*; Kresna Yusuf Rouhillah, 083833327589; 2018: 47 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Indonesia memiliki radiasi surya yang cukup tinggi. Rata – rata Indonesia mendapatkan energi surya sebesar 4.8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sebesar 9%. Kawasan Indonesia bagian barat mendapatkan energi surya sebesar 4,5 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 10%, di kawasan Indonesia bagian timur sebesar 5,1 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Hal ini dapat mengisyaratkan bahwa radiasi surya di Indonesia tersedia hampir merata setiap tahun dengan Indonesia bagian timur yang memiliki intensitas penyinaran yang cukup baik.

Energi termal surya digunakan untuk penyediaan air panas pada lingkup rumah tangga, khususnya rumah tangga perkotaan. Pemanas air energi surya merupakan suatu sistem yang terdiri dari kolektor panas matahari yang dipadukan dengan air sebagai fluida kerja yang dikontakkan dengan kolektor melalui pipa. Jumlah pemanas air tenaga surya (PATS) diperkirakan berjumlah 150.000 unit dengan luasan kolektor dengan total mencapai 400.000 m².

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain kolektor surya yang baik dengan membandingkan temperatur air pada sisi *outlet* dan efisiensi pada kolektor surya yang dikombinasikan dengan konsentrator parabolik dengan yang tidak menggunakan konsentrator parabolik. Hasil dari penelitian ini dapat menentukan apakah konsentrator parabolik mempengaruhi temperatur *outlet* maupun efisiensi dari pemanas air tenaga surya.

Temperatur *outlet* air hasil dari eksperimen pada kolektor surya yang menggunakan konsentrator parabolik berturut – turut pada laju aliran massa 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; dan 0,001 kg/s memiliki nilai tertinggi sebesar 37,7 °C; 40,4 °C; dan 57,2 °C. Temperatur *outlet* air pada kolektor surya tanpa konsentrator parabolik memiliki nilai yang lebih rendah, nilai temperatur *outlet* berturut – turut pada laju

aliran massa 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; dan 0,001 kg/s memiliki nilai tertinggi sebesar 36,7 °C; 38,7 °C; dan 47,4 °C.

Efisiensi pemanas air tenaga surya pada kolektor surya yang menggunakan konsentrator parabolik berturut – turut pada laju aliran massa 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; dan 0,001 kg/s memiliki nilai tertinggi sebesar 57,99%; 55,51%; dan 21,60%. Efisiensi pemanas air tenaga surya pada kolektor surya tanpa konsentrator parabolik memiliki nilai yang lebih rendah, nilai efisiensi berturut – turut pada laju aliran massa 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; dan 0,001 kg/s memiliki nilai tertinggi sebesar 52,47%; 47,08%; dan 14,53 %.

Peningkatan temperatur *outlet* air disebabkan oleh nilai radiasi matahari yang tinggi dan juga adanya pengaruh penambahan konsentrator parabolik pada kolektor surya. Nilai temperatur outlet air tertinggi terjadi pada saat laju aliran massa sebesar 0,001 kg/s pada kolektor yang menggunakan konsentrator parabolik, nilai temperatur terendah pada saat laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor yang tidak menggunakan konsentrator parabolik.

Peningkatan efisiensi pemanas air tenaga surya disebabkan oleh penambahan konsentrator parabolik pada kolektor surya. Penurunan efisiensi disebabkan oleh laju aliran massa yang kecil yang membuat produksi air panas menjadi sangat kecil. Nilai efisiensi terbesar ada pada saat laju aliran massa 0,008 kg/s dengan kolektor yang menggunakan konsentrator parabolik, nilai efisiensi terkecil ada pada saat laju aliran massa 0,001 kg/s dengan kolektor surya tanpa konsentrator parabolik.

SUMMARY

Indonesia has high solar radiation. Indonesia get solar energy averaged 4.8 kWh/m².day with monthly variation of 9%. West Indonesia is gettings solar radiation 4,5 kWh/m².day with monthly variation of 10%, on the east Indonesia 5,1 kWh/m².day with monthly variation of 9%. This showed that solar radiation on Indonesia is exist almost every year with east Indonesia as a highest one.

Solar thermal energy is used as hot water supply on the household scope, especially the citizens. Solar water heater is a system that consist of solar thermal collector that contacted to the fluid that provide a heat transfer. Total amount of solar water heater is about 150.000 unit with total collector reach 400.000 m².

The objective of this study is to get a best solar collector with comparing the outlet temperatur and the collector efficiency that using parabolic concentrator with the collector that is not using parabolic concentrator. The result of this research is how the parabolic concentrator affect the outlet temperatur and the solar water heater efficiency.

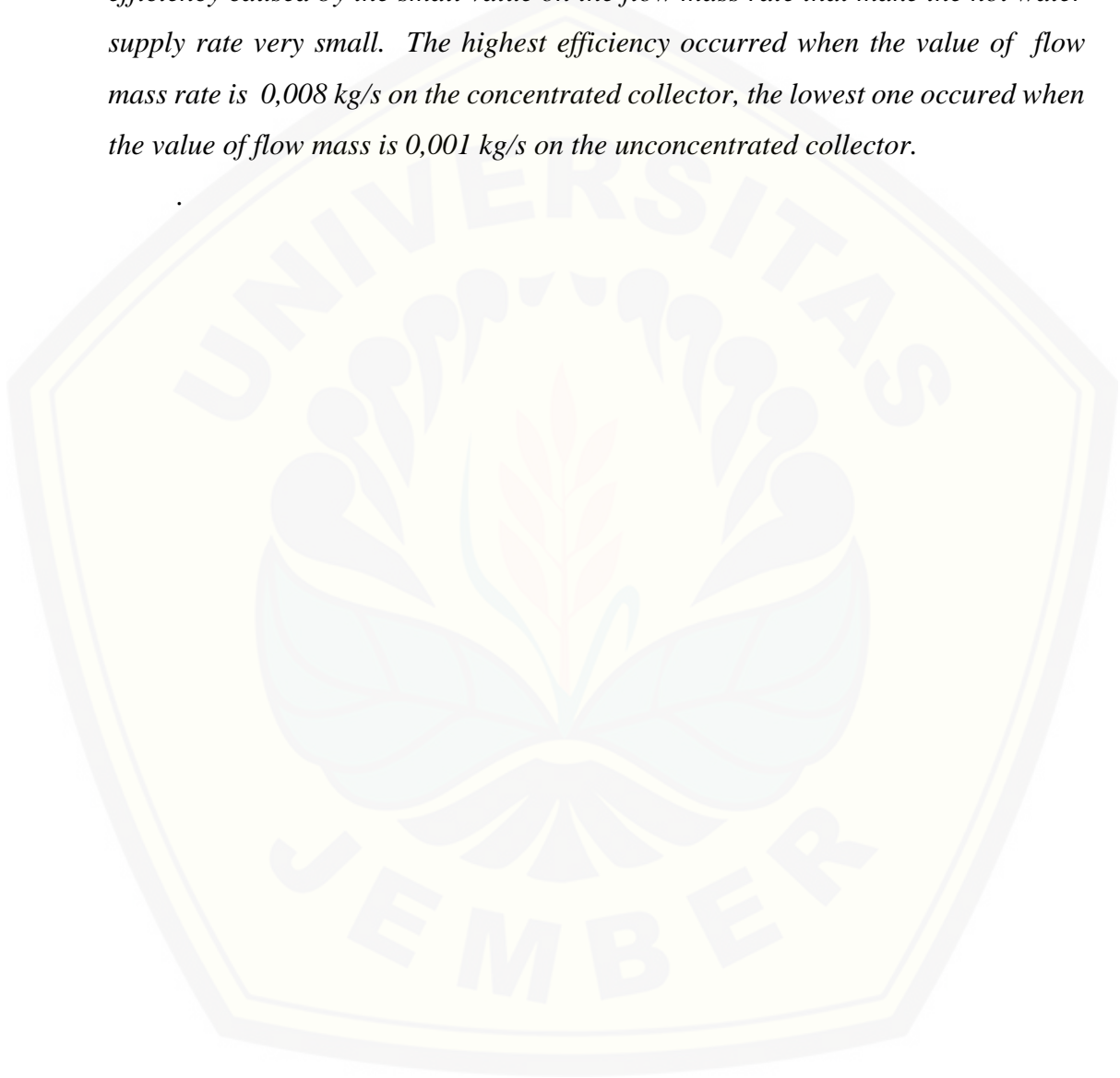
The experiment result that the outlet temperatur of concentrated collector respectively with flow mass rate of 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; and 0,001 kg/s reach the highest temperatur on 37,7°C; 40,4 °C; and 57,2 °C. The outlet temperatur on the unconcentrated collector have lower temperatur than the concentrated one, the temperatur respectively with flow mass rate 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; and 0,001 kg/s reach the highest value on 36,7 °C; 38,7°C; dan 47,4 °C..

Solar water heater efficiency on the concentrated collector respectively with flow mass rate 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; and 0,001 kg/s reach the highest value on 57,99%; 55,51%; and 21,60%. Solar water heater efficiency on the unconcentrated collector have the lower value than the concentrated one, the efficiency respectively with flow mass rate 0,008 kg/s; 0,006 kg/s; and 0,001 kg/s reach the highest value on 52,47%; 47,08%; dan 14,53%.

The increase of outlet water temperatur caused by the high value of solar radiation and the effect of parabolic concentrator on the solar collector. The highest outlet water temperatur occurred when the value of flow mass rate is 0,001

kg/s on the concentrated collector, the lowest temperatur ocured when the value of flow mass rate is 0,008 kg/s on the unconcentrated collector.

The increase of the solar water heater efficiency the effect of parabolic concentrator on the solar collector that provide more heat, but the decrease of the efficiency caused by the small value on the flow mass rate that make the hot water supply rate very small. The highest efficiency occurred when the value of flow mass rate is 0,008 kg/s on the concentrated collector, the lowest one ocured when the value of flow mass is 0,001 kg/s on the unconcentrated collector.



PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Performa Kolektor Surya dengan *Parabolic Concentrator* pada *Solar Water Heater*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Entin Hidayah M, UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama
5. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota dan selaku Dosen Pembimbing Akademik
6. Ayah, Ibu, Adik-adik, dan keluarga yang telah memberikan dukungan
7. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
8. Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat

Jember, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN.....	vii
SUMMARY.....	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pemanas Air Energi Surya.....	5
2.1.1 Pemanas Air Tenaga Surya Aktif.....	6
2.1.2 Pemanas Air Tenaga Surya Pasif (Sistem Termosifon).....	6
2.2 Kolektor Surya	7
2.2.1 Kolektor Pelat Datar.....	8

2.2.2	Kolektor Tabung	8
2.3	Kolektor Surya Terkonsentrasi	11
2.4	Asas Black	13
2.5	Tinjauan Perpindahan Panas.....	14
2.5.1	Konduksi	14
2.5.2	Konveksi	15
2.5.3	Radiasi.....	15
2.6	Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya	18
2.7	Penelitian – penelitian Sebelumnya.....	18
2.7.1	Penelitian oleh Sawhney, et al., (1984).....	18
2.7.2	Penelitian oleh Murugavel & Devanarayanan, (2014).....	19
2.7.3	Penelitian oleh Mishra, et al., (2015).....	20
2.7.4	Penelitian oleh Mishra, et al., (2017).....	20
2.8	Hipotesis	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Metode Penelitian	23
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2.1	Waktu Penelitian	23
3.2.2	Tempat Penelitian	23
3.3	Alat dan Bahan	24
3.3.1	Pembuatan Kolektor Surya	24
3.3.2	Pembuatan Pemanas Air Tenaga Surya (<i>Solar Water Heater</i>)	25
3.4	Variabel Penelitian	26
3.4.1	Variabel Bebas	26
3.4.2	Variabel Terikat	26
3.4.3	Variabel Kontrol	26
3.5	Pengambilan Data yang Dilakukan	27
3.6	Tahap – tahap Penelitian	28
3.6.1	Tahap Persiapan	28
3.6.2	Tahap Penelitian.....	28
3.6.3	Tahap Pengolahan Data	29
3.7	Desain Alat	30
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	32

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data Hasil Penelitian	33
4.1.1 Intensitas radiasi matahari.....	33
4.1.2 Temperatur <i>Outlet</i> Air.....	33
4.2 Pengolahan Data.....	35
4.2.1 Kalor yang diserap air	35
4.2.2 Kalor yang diserap absorber	36
4.2.3 Efisiensi pemanas air tenaga surya	38
4.3 Analisa Data	40
4.3.1 Analisa data intensitas radiasi matahari	40
4.3.2 Analisa data temperatur <i>outlet</i> air	41
4.4 Efisiensi Pemanas Air Energi Surya	44
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem pemanas air tenaga surya di Danbury Hospital, Amerika Serikat (Jansen, 1995) 5

Gambar 2.2 Pemanas air tenaga surya aktif (Dwivedi, 2009)..... 6

Gambar 2.3 Sistem pemanas air tenaga surya pasif/ sistem termosifon (Dwivedi, 2009) 7

Gambar 2.4 Kolektor pelat datar (Duffie & Beckman, 2013) 8

Gambar 2.5 Kolektor tabung (Mishra, et al., 2017) 9

Gambar 2.6 Kolektor tabung dengan pipa U sebagai media transfer panas (Mishra, et al., 2015)..... 10

Gambar 2.7 Kolektor tabung dengan menggunakan heat pipe sebagai media transfer panas (Behnam & Shafii, 2016) 10

Gambar 2.8 Kolektor tabung pipa U dengan konsentrator parabolik (Mishra, et al., 2017) 12

Gambar 2.9 Kolektor tabung dengan konsentrator parabolik yang disusun seri (Mishra, et al., 2017) 12

Gambar 2.10 Sudut - sudut yang menentukan posisi matahari (Duffie & Beckman, 2013) 16

Gambar 2.11 Efek perubahan laju aliran massa terhadap temperatur air (Sawhney, et al., 1984)..... 19

Gambar 2.12 Grafik hubungan antara laju aliran massa dengan perbedaan temperatur air (Mishra, et al., 2015) 20

Gambar 2.13 Grafik temperatur *outlet* air dengan kolektor tanpa reflektor parabolik 21

Gambar 2.14 Grafik temperatur *outlet* dengan kolektor menggunakan reflektor parabolik (Mishra, et al., 2017)..... 21

Gambar 3.1 Desain bagian dalam kolektor tabung (a), Kolektor tabung dengan covernya (b) 24

Gambar 3.2 Rencana desain alat pemanas air energi surya 25

Gambar 3.3 Diagram tahanan panas tanpa parabolik konsentrator (kiri), diagram tahanan panas dengan konsentrator parabolik (kanan)	29
Gambar 3.4 a)Desain kolektor A b) Desain kolektor B	30
Gambar 3.5 Penampang kolektor A	30
Gambar 3.6 Penampang kolektor B	31
Gambar 4.1 Intensitas radiasi matahari pada saat pengambilan data.....	40
Gambar 4.2 Temperatur outlet air dengan laju aliran massa 0,008 kg/s.....	41
Gambar 4.3 Temperatur outlet air pada laju aliran massa 0,006 kg/s.....	41
Gambar 4.4 Temperatur outlet air pada laju aliran massa 0,001 kg/s.....	42
Gambar 4.5 Temperatur Outlet Air kolektor A.....	43
Gambar 4.6 Temperatur Outlet Air kolektor B.....	43
Gambar 4.7 Grafik efisiensi pemanas air tenaga surya.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel pengambilan data pada kolektor A (tanpa konsentrator parabolik)	27
Tabel 3.2 Tabel pengambilan data pada kolektor B (dengan konsentrator parabolik)	28
Tabel 4.1 Data Intensitas Radiasi Matahari	33
Tabel 4.2 Data Temperatur Outlet Air pada Laju Aliran Massa 0,008 kg/s	34
Tabel 4.3 Data Temperatur Outlet Air pada Laju Aliran Massa 0,006 kg/s	34
Tabel 4.4 Data Temperatur Outlet Air pada Laju Aliran Massa 0,001 kg/s	35
Tabel 4.5 Data hasil perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,008 kg/s	35
Tabel 4.6 Data hasil perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,006 kg/s	36
Tabel 4.7 Data hasil perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,001 kg/s	36
Tabel 4.8 Data hasil perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,008 kg/s	37
Tabel 4.9 Data hasil perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,006 kg/s	37
Tabel 4.10 Data hasil perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,001 kg/s	38
Tabel 4.11 Data hasil perhitungan efisiensi pada laju aliran massa 0,008 kg/s	38
Tabel 4.12 Data hasil perhitungan efisiensi pada laju aliran massa 0,006 kg/s	39
Tabel 4.13 Data hasil perhitungan efisiensi pada laju aliran massa 0,001 kg/s	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 2. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,008 kg/s	50
Lampiran 3. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,008 kg/s	50
Lampiran 4. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,006 kg/s	51
Lampiran 5. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,006 kg/s	51
Lampiran 6. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,001 kg/s	52
Lampiran 7. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,001 kg/s	52
Lampiran 8. Perhitungan	53
Lampiran 9. Dokumentasi pembuatan kolektor	60
Lampiran 10. Pembuatan frame kolektor surya	60
Lampiran 11. Pemanas air tenaga surya	61
Lampiran 12. Pengukuran dan penentuan laju aliran massa air	61
Lampiran 13. Pengambilan data radiasi matahari menggunakan pyranometer digital	62
Lampiran 14. Pengambilan data temperatur menggunakan termokopel dan termometer digital	62

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki radiasi surya yang cukup tinggi. Rata – rata Indonesia mendapatkan energi surya sebesar 4.8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sebesar 9%. Kawasan Indonesia bagian barat mendapatkan energi surya sebesar 4,5 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 10%, di kawasan Indonesia bagian timur sebesar 5,1 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Hal ini dapat mengisyaratkan bahwa radiasi surya di Indonesia tersedia hampir merata setiap tahun dengan Indonesia bagian timur yang memiliki intensitas penyinaran yang cukup baik (Lubis, 2007).

Energi termal surya digunakan untuk penyediaan air panas pada lingkup rumah tangga, khususnya rumah tangga perkotaan. Jumlah pemanas air tenaga surya (PATS) diperkirakan berjumlah 150.000 unit dengan luasan kolektor dengan total mencapai 400.000 m². Pemanfaatan energi termal matahari secara non-komersial dan tradisional digunakan untuk pengeringan hasil – hasil pertanian, perkebunan, perikanan, industri kecil, serta keperluan rumah tangga. Pemanfaatan komersial, energi surya dapat digunakan untuk penyediaan panas proses rendah menggunakan system energi surya termik (SEST) yang digunakan untuk keperluan pengolahan pasca panen (Lubis, 2007).

Mishra, et al. (2015) melakukan sebuah penelitian mengenai performansi kolektor tabung yang diaplikasikan pada sistem pemanas air tenaga surya dengan variasi banyaknya jumlah kolektor dan laju aliran massa. Model kolektor yang digunakan yakni pipa tembaga yang berbentuk U yang sebelumnya diselubungi oleh pipa logam sebagai absorber dimasukkan ke dalam kolektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah kolektor, maka pengumpulan energi termal surya semakin tinggi dan juga membuat temperatur air pada sisi *outlet* semakin tinggi. Hasil dari variasi laju aliran massa dapat disimpulkan bahwa jika

semakin kecil nilainya, maka perbedaan antara temperatur *inlet* dan *outlet* semakin besar.

Liu, et al. (2014) telah melakukan penelitian dengan membuat sebuah kolektor tabung yang dikombinasikan dengan suatu konsentrator parabolik menggunakan udara sebagai fluida kerja untuk membuat pemanas udara, sistem akan bekerja lebih baik apabila menggunakan sistem termosifon yang memanfaatkan beda massa jenis. Li, et al. (2013) telah melakukan penelitian kolektor tabung yang menggunakan konsentrator parabolik dipadukan dengan model transfer panas menggunakan pipa U, mereka menyarankan bahwa model tersebut sangat mudah diaplikasikan untuk pengaplikasian pada instrument dengan temperatur sedang. Efisiensi yang dicapai dengan menggunakan 3 hingga 6 kolektor berkonsentrator parabolik yakni 40 – 46%. Ocampo, et al. (2007) membuat desain konsentrator planar yang diaplikasikan pada pemanas air dan dengan perkiraan efisiensi pemanfaatan energi matahari mencapai 60% dan efisiensi elektrik mencapai 16,4%. Mishra, et al. (2017) melanjutkan penelitiannya sebelumnya dengan melakukan penambahan konsentrator parabolik pada bagian bawah masing – masing kolektor dan membandingkan antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil eksperimen pada bulan maret dan juli di tahun 2016. Hasil penelitian menunjukkan adanya kecocokan tren grafik antara perhitungan teoritis dengan hasil eksperimen, energi termal surya yang ditangkap kolektor dengan konsentrator lebih tinggi daripada kolektor tanpa konsentrator.

Penelitian ini akan melakukan modifikasi terhadap kolektor surya pipa U yang telah dilakukan oleh Mishra, et al. (2017) dengan menambahkan bidang penangkapan energi termal surya, sehingga panas yang ditangkap absorber dapat lebih dimanfaatkan. Penulis juga akan melakukan perbandingan hasil pada saat kolektor diberi konsentrator parabolik maupun tidak, serta melakukan perbandingan performansi pemanas air energi surya dengan laju aliran massa fluida yang berbeda – beda.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

- a. Bagaimana pengaruh konsentrator parabolik terhadap temperatur *outlet* pada pemanas air energi surya?
- b. Bagaimana pengaruh laju aliran massa fluida kerja terhadap temperatur *outlet* pada pemanas air energi surya?
- c. Bagaimana pengaruh konsentrator parabolik terhadap efisiensi pemanas air tenaga surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui pengaruh penambahan konsentrator parabolik terhadap temperatur pada sisi *outlet* dan efisiensi pemanas air energi surya.
- b. Mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida terhadap temperatur pada sisi *outlet* pemanas air tenaga surya.
- c. Mendapatkan desain kolektor surya yang lebih baik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

- a. Memberikan pengetahuan mengenai pemanas air tenaga surya dengan menggunakan kolektor surya tabung.
- b. Memberikan suatu pengembangan alat pemanas air tenaga surya yang dapat dimanfaatkan dalam skala rumah tangga.
- c. Memberikan referensi bagi penelitian maupun pengembangan pemanas air energi surya yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

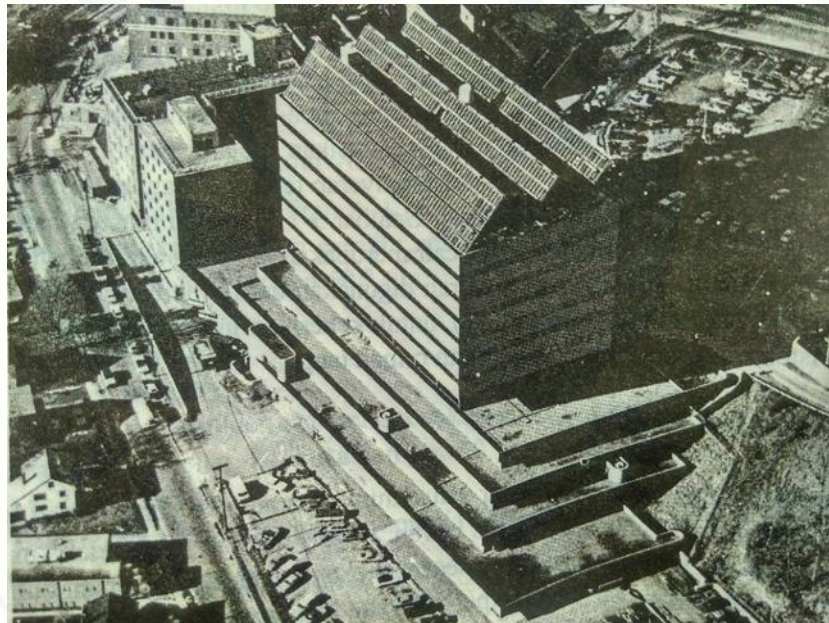
Batasan masalah yang ditentukan pada penelitian ini antara lain :

- a. Volume fluida di *reservoir* dalam setiap percobaan dianggap konstan.
- b. Laju aliran massa pada seluruh bagian kolektor dianggap seragam.
- c. Diameter pipa fluida kerja diasumsikan konstan.
- d. *Heat loss* tidak dihitung.
- e. Kondisi sistem dianggap tidak memiliki kebocoran.
- f. Emisivitas absorber dianggap bernilai 1.
- g. Bahan logam pengisi las dianggap sama dengan logam yang dilas.
- h. Lasan dianggap tidak memiliki cacat dan menghantarkan panas dengan baik.
- i. Pengaruh nilai reflektifitas bahan konsentrator parabolik diabaikan.
- j. Titik pengambilan data temperatur pada suatu bagian kolektor tertentu yang diukur dianggap seragam pada bagian kolektor tersebut.
- k. Perpindahan panas dianggap dalam kondisi *steady*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemanas Air Energi Surya

Pemanas air energi surya merupakan suatu sistem yang terdiri dari kolektor panas matahari yang dipadukan dengan air sebagai fluida kerja yang dikontakkan dengan kolektor melalui pipa (Darwin, 2015). Kebutuhan air panas dalam skala kecil maupun besar dalam rumah tangga dan industri dapat disediakan langsung menggunakan sistem pemanas energi surya. Kebutuhan air panas pada tingkat keluarga sangat tinggi, banyak negara yang sudah memanfaatkan energi surya sebagai media pemanasan air. Sebuah rumah sakit (Gambar 2.1) di Amerika Serikat mengaplikasikan pemanas air surya pelat rata sebagai pemasok kebutuhan air panas pasien, pemanasan ruangan, dan sebagainya (Jansen, 1995).



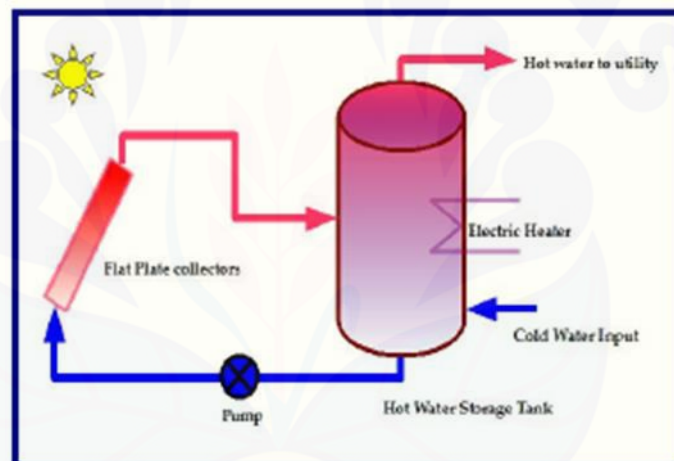
Gambar 2.1 Sistem pemanas air tenaga surya di Danbury Hospital, Amerika Serikat (Jansen, 1995)

Pemanas air tenaga surya telah diproduksi di seluruh dunia. Pemanas air ini sangat biasa digunakan di Florida dan California, sempat menghilang dan jarang digunakan ketika harga gas alam sebagai bahan bakar murah. Pemanas air tenaga surya ini mulai diminati kembali ketika harga gas alam kembali naik. Sistem

pemanas air tenaga surya memiliki kelebihan dimana beban pemanasannya seragam tiap tahunnya, yang mana memimpin pemanfaatan energi matahari sebagai suatu alat pemanas (Duffie & Beckman, 2013). Pemanas air tenaga surya dibagi menjadi dua jenis yaitu pemanas air tenaga surya aktif dan pemanas air tenaga surya pasif.

2.1.1 Pemanas Air Tenaga Surya Aktif

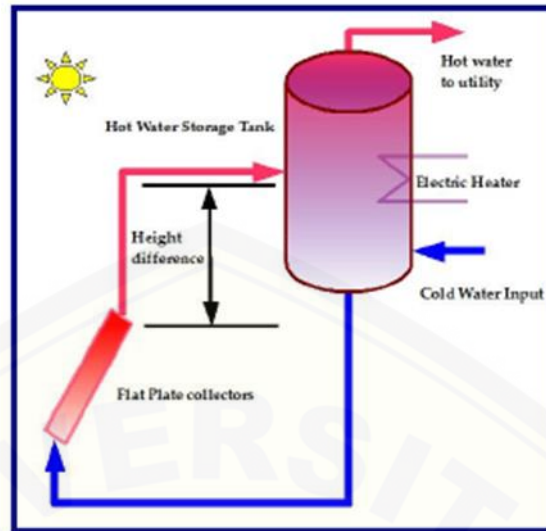
Pemanas air tenaga surya aktif adalah pemanas air surya yang tidak terlalu bergantung kepada rancangan bangunan tertentu, dan membutuhkan energi tambahan untuk mengumpulkan energi panas surya tersebut ke daerah pemakaian atau daerah perpindahan panas (Stoecker & Jones, 1982). Komponen – komponen sistem pemanas energi surya aktif ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pemanas air tenaga surya aktif (Dwivedi, 2009)

2.1.2 Pemanas Air Tenaga Surya Pasif (Sistem Termosifon)

Pemanfaatan pemanas air tenaga surya dalam lingkup rumah tangga kebanyakan menggunakan tipe termosifon, yakni sistem yang mengandalkan perbedaan massa jenis fluida sehingga tidak diperlukan pompa sebagai alat untuk mengalirkan fluida. Sirkulasi fluida dalam sistem termosifon akan terus terjadi sampai temperatur pada seluruh sistem mencapai suatu keseragaman (Jansen, 1995). Komponen pada pemanas air tenaga surya pasif dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem pemanas air tenaga surya pasif/ sistem termosifon (Dwivedi, 2009)

Pada saat siang hari, air yang ada di pipa dalam kolektor temperaturnya naik akibat adanya radiasi matahari. Karena perbedaan densitas, air yang lebih panas naik ke atas dan memanaskan air yang memiliki temperatur lebih rendah di dalam tangki. Hal ini akan terus berlanjut sampai air di dalam tangki memiliki temperatur yang sama. Pada sistem termosifon ini tidak membutuhkan alat pemompa fluida untuk mensirkulasikan air yang dipanaskan (Dwivedi, 2009). Kesederhanaan sistem ini banyak diminati di negara – negara berkembang seperti Israel, Jepang, Australia, dan sebagainya. Sistem termosifon dapat menghemat biaya karena tidak perlu menggunakan pompa untuk mensirkulasikan fluida, dengan adanya perbedaan massa jenis, fluida akan bersirkulasi secara otomatis (Jansen, 1995).

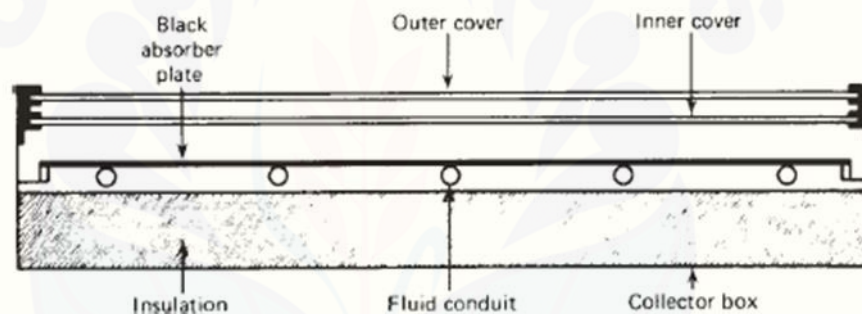
2.2 Kolektor Surya

Kolektor surya adalah suatu alat yang digunakan untuk mengumpulkan panas yang diperoleh dari energi radiasi matahari, energi matahari yang dikumpulkan ini diubah menjadi panas yang bermanfaat. Secara umum didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi

utama (Darwin, et al., 2015). Secara umum kolektor surya yang digunakan dalam pemanas air ada 2 jenis, yaitu kolektor pelat datar dan kolektor tabung.

2.2.1 Kolektor Pelat Datar

Kolektor pelat datar (Gambar 2.4) merupakan sebuah kotak yang memiliki bagian penyerap radiasi panas matahari, di bagian bawah bagian penyerap ini biasanya dilewati oleh pipa – pipa fluida yang akan dipanaskan. Penutup kaca seringkali digunakan sebagai penutup kolektor pelat datar dengan maksud menghindari konveksi dan *losses* radiasi ke atmosfer. Bahan isolator diposisikan pada bagian bawah kolektor untuk menghindar *losses* secara konduksi. Model kolektor pelat datar ini sering digunakan dalam pemanas air (Duffie & Beckman, 2013).



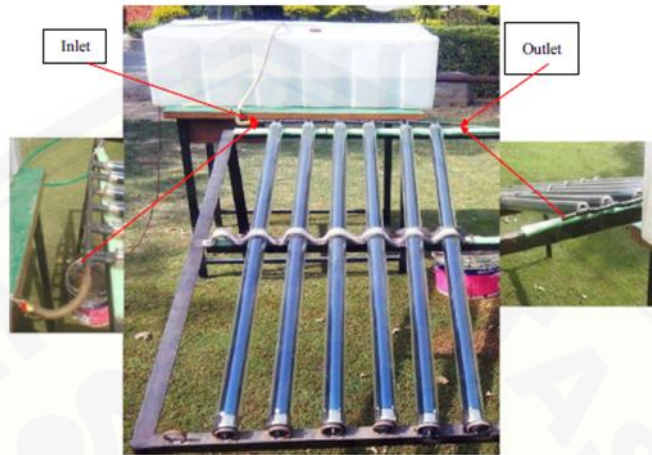
Gambar 2.4 Kolektor pelat datar (Duffie & Beckman, 2013)

Penelitian mengenai kolektor pelat datar sudah banyak dilakukan. Nayak & Amer, (2000) telah melakukan Analisa pengujian pada kolektor surya pelat datar dan membandingkan antara hasil teoritis dan eksperimen. Tiwari, et al., (2011) telah melakukan review mengenai model termal pada sistem fotofoltaik hybrid, dan masih banyak lagi (Mishra, et al., 2015).

2.2.2 Kolektor Tabung

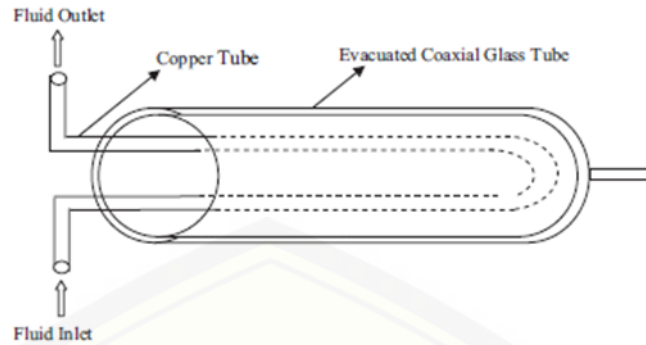
Kolektor tabung (Gambar 2.5) digunakan untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi daripada kolektor pelat datar. Kelebihan kolektor jenis ini adalah efisiensi transfer panas yang tinggi dengan faktor kehilangan panas yang rendah,

karena fluida yang terjebak diantara *absorber* dan *cover* dikondisikan dalam keadaan vakum sehingga dapat meminimalisir kehilangan panas secara konveksi (Darwin, et al., 2015).

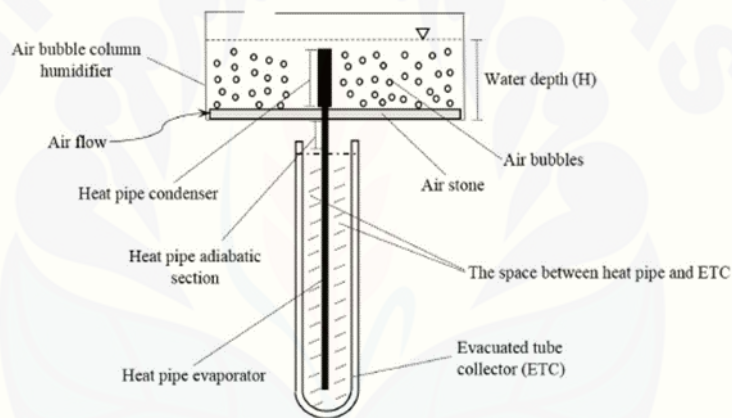


Gambar 2.5 Kolektor tabung (Mishra, et al., 2017)

Kolektor tabung memiliki kelebihan yang sangat signifikan dibandingkan kolektor surya pelat datar dari sisi *heatloss*. Kolektor tabung memiliki dua tipe yaitu kolektor tabung dengan 1 tabung kaca dan juga tipe kolektor surya tabung dengan 2 tabung kaca (*double*). Dari dua tipe kolektor tabung ini muncul banyak variasi dari sisi cara transfer panasnya. Transfer panas dapat melalui pipa U (Gambar 2.6), melalui pipa logam pemanas/ *heat pipe* (Gambar 2.7), atau dengan kontak langsung (Mishra, et al., 2015).



Gambar 2.6 Kolektor tabung dengan pipa U sebagai media transfer panas (Mishra, et al., 2015)



Gambar 2.7 Kolektor tabung dengan menggunakan heat pipe sebagai media transfer panas (Behnam & Shafii, 2016)

Penelitian mengenai kolektor tabung sudah mulai banyak dilakukan. Kelompok Energi Surya di Universitas Chicago mengembangkan kolektor energi surya dengan efisiensi tinggi dan mampu digunakan hingga temperatur 250 °C. Liu, et al., (2014) telah melakukan penelitian mengenai generator uap dengan menggunakan kolektor surya tabung yang dikombinasikan dengan konsentrator parabolik. Uap yang dihasilkan mencapai 200°C dengan tekanan 0,1 – 0,55 MPa. Mishra, et al., (2015) melakukan penelitian menggunakan kolektor tabung konvensional dengan pipa U sebagai media transfer panas yang menggunakan

sistem termosifon pada pemanas air, dan masih banyak lagi penelitian yang menggunakan kolektor surya tabung.

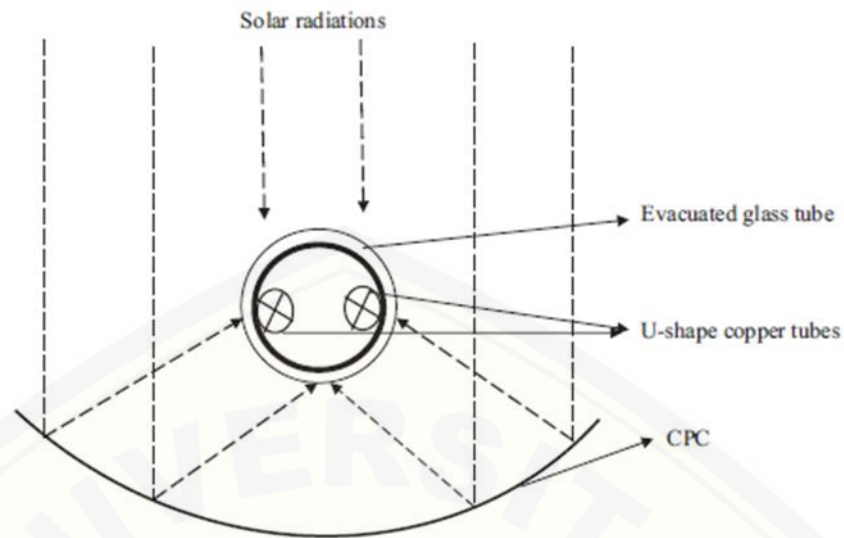
Sistem pemanas air tenaga surya tabung yang menggunakan pipa U sebagai media transfer panas, panas yang diserap oleh kolektor berpindah secara konveksi karena air yang mengalir di dalam pipa U. Energi yang diserap oleh air menyebabkan temperatur air menjadi naik dengan bertahap. Panas yang diserap oleh air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Muthukumar, et al., 2016).

$$Q_{air} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2.1)$$

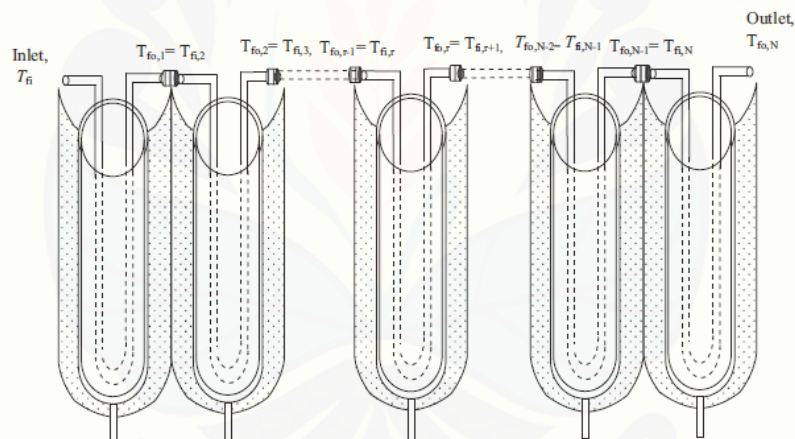
Dengan \dot{m} merupakan laju aliran massa air yang mengalir, c_p merupakan panas spesifik air dalam tekanan konstan, $T_{air\ masuk}$ adalah temperatur air yang masuk ke dalam kolektor, dan $T_{air\ keluar}$ adalah temperatur air yang keluar dari kolektor.

2.3 Kolektor Surya Terkonsentrasi

Kolektor surya terkonsentrasi merupakan salah satu modifikasi dari kolektor surya dengan menambahkan suatu konsentrator agar cahaya matahari terpantulkan kembali dan mengenai penyerap panas (Darwin, et al., 2015). Tujuan utama dalam penambahan konsentrator sebagai pengkonsentrasi pada kolektor surya adalah untuk menaikkan performansi dengan mengurangi *heatloss* (Murugavel & Devanarayanan, 2014). Kolektor tabung dengan pipa U dan ditambahkan konsentrator sebagai pengkonsentrasi telah diuji oleh (Li, et al., 2013), mereka menyarankan bahwa model ini cocok digunakan dalam pemanas dengan temperatur yang tinggi (Mishra, et al., 2017). Liu, et al., (2014) telah melakukan penelitian mengenai generator uap dengan kolektor tabung yang terintegrasi dengan konsentrator, uap yang dihasilkan mencapai temperatur 200 °C. Mishra, et al., (2017) telah melakukan penelitian mengenai analisa energi pada kolektor tabung dengan konsentrator parabolik (Gambar 2.8) dan membandingkannya dengan penelitian sebelumnya (Mishra, et al., 2015).



Gambar 2.8 Kolektor tabung pipa U dengan konsentrator parabolik (Mishra, et al., 2017)



Gambar 2.9 Kolektor tabung dengan konsentrator parabolik yang disusun seri (Mishra, et al., 2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Mishra, et al., (2017) menggunakan beberapa kolektor yang disusun secara seri (Gambar 2.9). Pada penelitian sebelumnya Mishra, et al., (2015) melakukan penelitian serupa tetapi tanpa konsentrator pengkonsentrasi. Hasil yang didapatkan sangat signifikan apabila dibandingkan antara kolektor terkonsentrasi dengan yang tidak. Temperatur air di sisi *outlet* terbukti lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa

energi termal yang didapatkan lebih banyak apabila menggunakan konsentrator parabolik sebagai konsentrator.

2.4 Asas Black

Asas Black merupakan salah satu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh salah satu tokoh bernama Joseph Black. Asas Black ini menjabarkan bahwa :

- Apabila terdapat dua buah benda yang memiliki temperatur yang berbeda dan kemudian dicampurkan, maka kalor akan berpindah dari benda yang panas menuju benda yang memiliki temperatur lebih rendah hingga temperatur keduanya menjadi sama.
- Banyaknya kalor yang diserap oleh suatu benda besarnya sama dengan banyaknya kalor yang dilepas oleh suatu benda yang panas.
- Benda yang didinginkan melepas kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap apabila dipanaskan.

Banyaknya energi kalor dinotasikan sebagai Q dan diukur dalam satuan Joule. (Saputra, 2017)

$$Q = m c \Delta T \quad (2.2)$$

Dengan :

Q = Banyaknya kalor (Joule)

m = Massa benda (kg)

c = Koefisien perpindahan panas (J/kg °C)

ΔT = Perbedaan temperatur

2.5 Tinjauan Perpindahan Panas

2.5.1 Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat perbedaan temperatur, maka akan terjadi perpindahan energi kalor dari bagian benda yang memiliki temperatur tinggi menuju ke bagian yang bertemperatur lebih rendah (Atmodigdo, 2016). Laju perpindahan kalor konduksi dapat dinyatakan dengan hukum Fourier (Holman, 2010).

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Dengan q merupakan laju perpindahan panas, k adalah konduktivitas termal, A adalah luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas, dan dT/dx adalah gradien temperatur dalam aliran panas.

. Pada sebuah kolektor tabung, perpindahan panas secara konduksi terjadi pada absorber yang memindahkan panasnya ke media transfer panas yang langsung kontak dengan fluida, media perpindahan panas itu termasuk pipa U maupun dengan *heat pipe*. Dengan arah aliran panas yang menuju ke dalam pipa, dapat ditentukan luasan perpindahan panas adalah luasan permukaan pipa itu sendiri, sehingga :

$$A = 2\pi rL \quad (2.4)$$

apabila persamaan 2.4 mengenai luasan permukaan pipa disubstitusikan ke dalam persamaan 2.3, maka

$$Q = -2\pi krL \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

dengan q merupakan laju aliran panas, k merupakan konduktivitas termal, r merupakan jari – jari luar pipa, L merupakan tebal pipa, dan dT/dx adalah gradien temperatur dalam perpindahan panas (Holman, 2010).

2.5.2 Konveksi

Udara yang berhembus mengalir diatas permukaan suatu kolektor surya terjadi perpindahan panas konveksi. Apabila aliran udara tersebut disebabkan oleh adanya blower maka dapat disebut konveksi paksa, namun apabila aliran fluida disebabkan oleh perbedaan graadien massa jenis maka disebut konveksi alami (Oktadianto, 2017). Pada umumnya laju perpindahan panas konveksi dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$q = h A (T_w - T_f) \quad (2.6)$$

dengan q adalah laju perpindahan panas (W), h adalah koefisien konveksi ($W/(m^2.K)$), A adalah luasan permukaan (m^2), T_w dan T_f masing – masing adalah temperatur dinding dan temperatur fluida (K). Pada umumnya koefisien konveksi h dinyatakan dengan parameter tanpa dimensi yang disebut bilangan Nusselt (Jansen, 1995).

2.5.3 Radiasi

Matahari adalah materi yang disusun oleh gas – gas yang sangat panas berdiameter sebesar $1,39 \times 10^9$ m dan dengan jarak $1,5 \times 10^{11}$ m dari bumi. Matahari memiliki temperatur permukaan efektif sebesar 5762 K (Jansen, 1995). Temperatur yang ada pada inti matahari berkisar $8 \times 10^6 - 40 \times 10^6$ K dan dengan densitas diperkirakan 100 kali lebih besar dari air (Atmodigdo, 2016). Energi yang dihasilkan oleh matahari adalah energi panas dan energi cahaya. Intensitas radiasi matahari yang mencapai atmosfer terluar bumi sangatlah besar, namun 30% dari total radiasi tersebut akan terefleksikan kembali ke ruang angkasa, dan sisanya terserap oleh awan, lautan, serta daratan (Duffie & Beckman, 2013). Pancaran radiasi terbaik terjadi pada siang hari dengan intensitas di permukaan bumi kurang lebih sebesar 1000 W/m^2 (Atmodigdo, 2016).

Radiasi matahari yang dipancarkan ke permukaan bumi dibagi menjadi 3 jenis, yaitu radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi tersebar (*diffuse radiation*), dan radiasi pantulan. Radiasi langsung adalah radiasi yang diterima langsung oleh permukaan bumi yang 1 garis lurus dengan arah radiasinya. Radiasi tersebar adalah

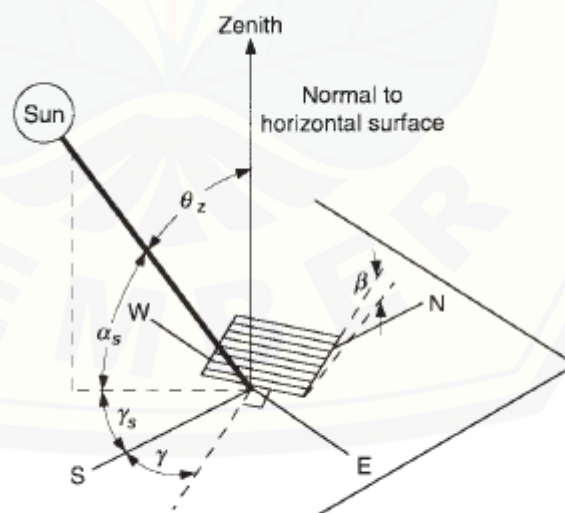
radiasi yang tersebar oleh atmosfer, difusi ini menyebabkan sinar matahari menyebar ke segala arah. Radiasi pantulan merupakan radiasi yang datang dari pantulan benda yang mendapatkan radiasi langsung, benda yang dapat memantulkan sinar matahari biasanya memiliki warna yang mengkilap (Atmodigdo, 2016).

Radiasi dipancarkan oleh permukaan yang memiliki energi termal. Perpindahan panas radiasi ini terjadi tanpa melalui media perantara dan terjadi di ruang hampa (Saputra, 2017). Radiasi termal antara dua benda hitam adalah (Jansen, 1995):

$$Q = \sigma A T^4 \quad (2.7)$$

dimana σ adalah konstanta Boltzman sebesar $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$, A adalah luasan permukaan daerah radiasi, dan temperatur adalah derajat kelvin pangkat empat.

Posisi matahari menentukan sudut datang dari radiasi matahari tersebut. Hubungan suatu permukaan dengan arah radiasi surya yang datang dapat digambarkan pada Gambar 2.10 (Duffie & Beckman, 2013):



Gambar 2.10 Sudut - sudut yang menentukan posisi matahari (Duffie & Beckman, 2013)

- a. Sudut lintang (Φ) merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, untuk arah utara diberi tanda positif, $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- b. Sudut deklinasi (δ) merupakan sudut matahari terhadap titik zenith di ekuator. Untuk arah utara diberi tanda positif, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$. Sudut deklinasi dapat ditentukan dengan persamaan Cooper (1969).

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.8)$$

Dengan n merupakan posisi hari ke berapa dalam 1 tahun dihitung mulai awal tahun.

- c. Sudut ketinggian surya/ *altitude* (α) merupakan sudut yang menyatakan ketinggian matahari terhadap horizon. Besarnya sudut ketinggian surya ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Arismunandar, 1995).

$$\alpha = 90^\circ - \theta z \quad (2.9)$$

Dengan θz merupakan sudut zenit.

- d. Sudut zenith (θz) merupakan sudut antara radiasi matahari dengan garis normal bidang horizontal. Besarnya sudut zenit dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Arismunandar, 1995).

$$\cos(\theta z) = \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\omega) \quad (2.10)$$

Dengan δ merupakan sudut deklinasi matahari, Φ adalah sudut lintang, dan ω adalah sudut jam.

- e. Sudut jam (ω) merupakan perpindahan sudut matahari ke arah timur atau barat akibat rotasi bumi. Perubahan sudut ini 15° per jam (nilai 0 tepat saat jam 12.00 waktu matahari), ke arah pagi bertanda positif, ke arah malam bertanda negatif.
- f. Sudut azimuth (γ) merupakan sudut perubahan posisi matahari dari selatan ke arah timur (untuk belahan bumi bagian selatan). Besarnya sudut azimuth dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Arismunandar, 1995).

$$\cos(\gamma) = \frac{\sin(\delta) - \sin(\Phi) \cos(\theta_z)}{\cos(\Phi) \sin(\theta_z)} \quad (2.11)$$

Dengan δ adalah sudut deklinasi matahari, Φ merupakan sudut lintang, dan θ_z merupakan sudut zenit.

2.6 Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya

Efisiensi dari sebuah kolektor tabung dapat dihitung menggunakan persamaan efisiensi (η). Efisiensi dari kolektor tabung surya merupakan perbandingan antara panas yang diserap oleh air sebagai fluida kerja dengan radiasi matahari yang diserap oleh luasan kolektor tersebut (Muthukumar, et al., 2016)

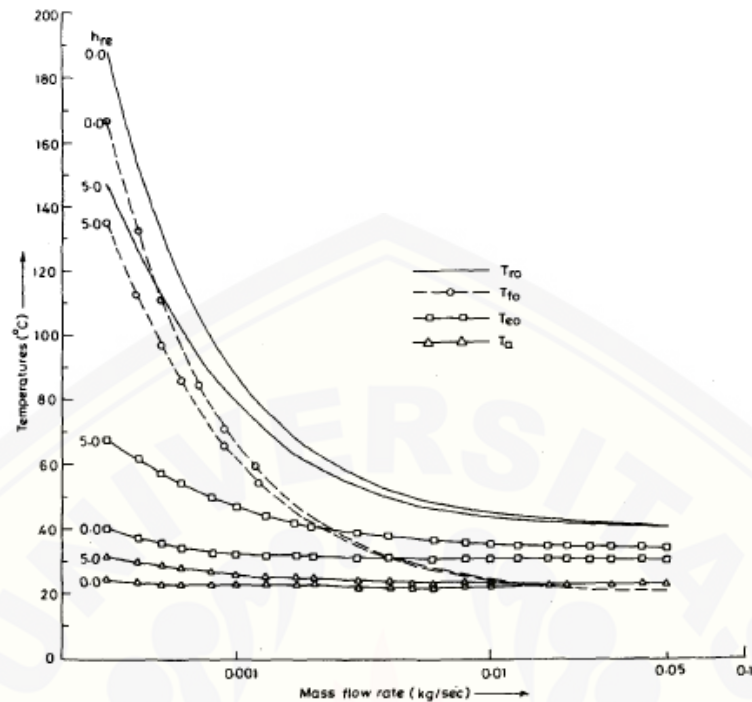
$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{n \times I \times A_{cov}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dengan Q_{air} merupakan panas yang diserap oleh air sebagai fluida kerja, Q_{abs} merupakan panas yang diserap absorber, n merupakan jumlah kolektor yang digunakan dan A_{cov} merupakan luasan *cover* kolektor.

2.7 Penelitian – penelitian Sebelumnya

2.7.1 Penelitian oleh Sawhney, et al., (1984)

Penelitian yang dilakukan oleh Sawhney, et al., (1984) ini mengenai analisa termal dari sebuah kolektor tabung yang diintegrasikan dengan sebuah konsentrator parabolik. Parameter yang dipilih pada penelitian ini adalah laju aliran massa fluida yang bekerja pada kolektor. Hasil dari penelitian ini adalah dengan adanya konsentrator parabolik dan dengan kecilnya nilai perpindahan massa akan membuat temperatur outlet semakin besar. (Gambar 2.11).



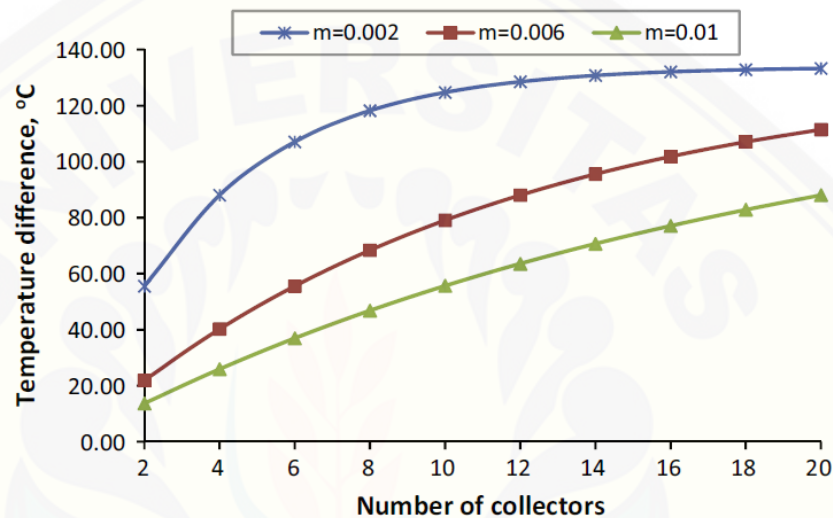
Gambar 2.11 Efek perubahan laju aliran massa terhadap temperatur air (Sawhney, et al., 1984)

2.7.2 Penelitian oleh Murugavel & Devanarayanan, (2014)

Penelitian yang dilakukan oleh Murugavel & Devanarayanan, (2014) ini mengenai penggunaan konsentrator parabolik dalam kolektor tabung Murugavel dkk mengumpulkan berbagai penelitian mengenai berbagai macam pengujian kolektor tabung dengan konsentrator. Dari berbagai penelitian yang ditemukan, bahwa efisiensi kolektor bekonsentrator parabolik selalu lebih baik efisiensinya daripada yang tidak. Penelitian ini juga menyatakan bahwa sistem dengan konsentrator parabolik ini bekerja sangat baik saat siang hari.

2.7.3 Penelitian oleh Mishra, et al., (2015)

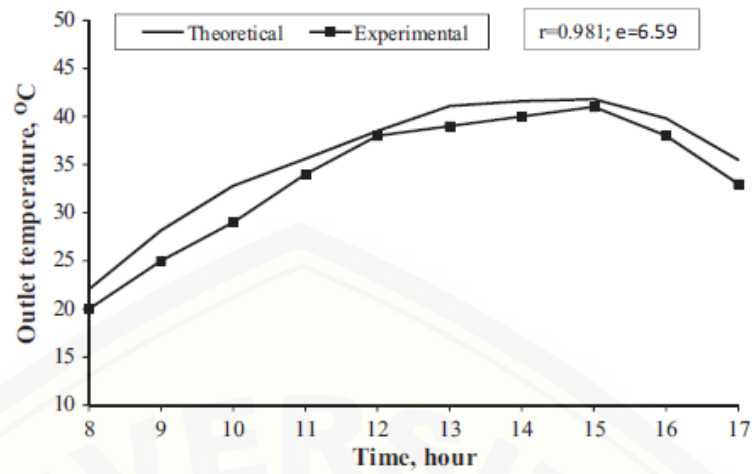
Penelitian yang dilakukan oleh Mishra, et al., (2015) mengenai analisa termal dari kolektor tabung tanpa konsentrator parabolik. Dalam penelitian ini Mishra dkk mengambil parameter dari variasi jumlah tabung kolektor yang disusun secara seri. Dari hasil penelitian ini (Gambar 2.12) dapat disimpulkan semakin rendah laju aliran massa maka temperatur air akan semakin tinggi.



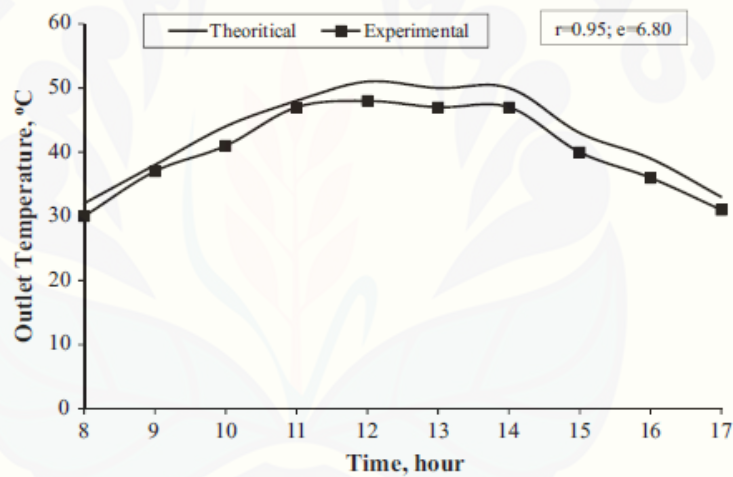
Gambar 2.12 Grafik hubungan antara laju aliran massa dengan perbedaan temperatur air (Mishra, et al., 2015)

2.7.4 Penelitian oleh Mishra, et al., (2017)

Penelitian Mishra, et al. pada tahun 2015 dilanjutkan kembali pada tahun 2017 dengan menambahkan konsentrator parabolik pada kolektor tabung (Gambar 2.13). Mishra, et al., (2017) membandingkan panas yang didapatkan kolektor berkonsentrator parabolik dengan yang tidak menggunakan konsentrator parabolik. Dari hasil penelitian dengan menggunakan 6 kolektor dan laju aliran massa 0,01 kg/s (Gambar 2.13) dapat dibandingkan bahwa dengan konsentrator parabolik, temperatur air yang dihasilkan lebih tinggi daripada yang tidak.



Gambar 2.13 Grafik temperatur *outlet* air dengan kolektor tanpa reflektor parabolik

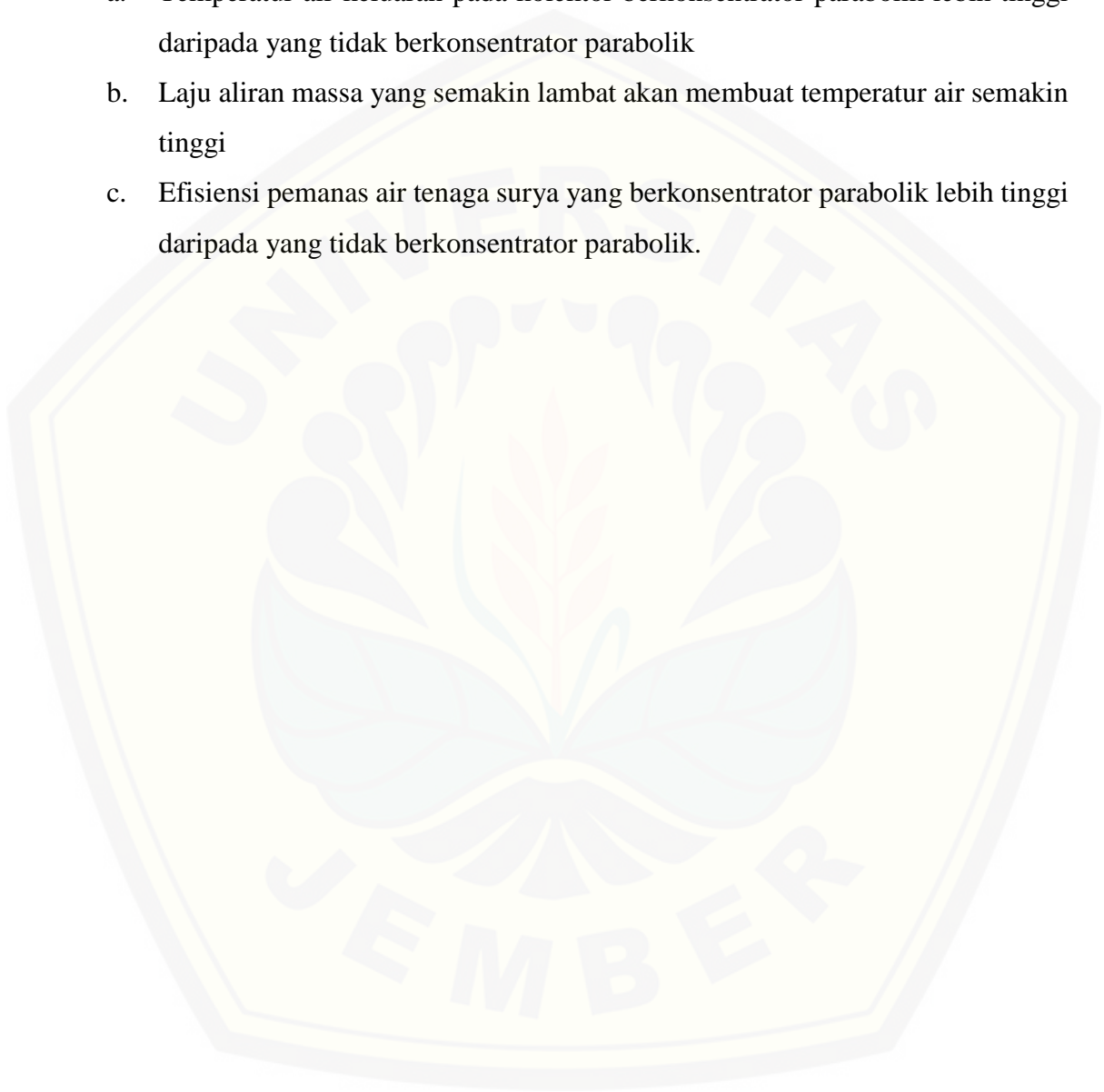


Gambar 2.14 Grafik temperatur *outlet* dengan kolektor menggunakan reflektor parabolik (Mishra, et al., 2017)

2.8 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dijabarkan di atas, maka dapat diambil hipotesis bahwa :

- a. Temperatur air keluaran pada kolektor berkonsentrator parabolik lebih tinggi daripada yang tidak berkonsentrator parabolik
- b. Laju aliran massa yang semakin lambat akan membuat temperatur air semakin tinggi
- c. Efisiensi pemanas air tenaga surya yang berkonsentrator parabolik lebih tinggi daripada yang tidak berkonsentrator parabolik.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Dalam metode ini digunakan dalam menguji temperatur keluaran air dari pemanas air tenaga surya dan membandingkan performa antara pemanas air yang menggunakan kolektor berkonsentrator parabolik dan dengan yang tidak menggunakan konsentrator parabolik.

Air yang memasuki pipa U akan melalui penyerap panas, kemudian panas akan diserap oleh air yang menyebabkan temperatur air menjadi naik. Ditambahkannya konsentrator parabolik akan memantulkan radiasi matahari ke bagian bawah kolektor yang tidak terkena sinar matahari secara langsung, sehingga luasan kolektor yang terpapar radiasi bertambah luas.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

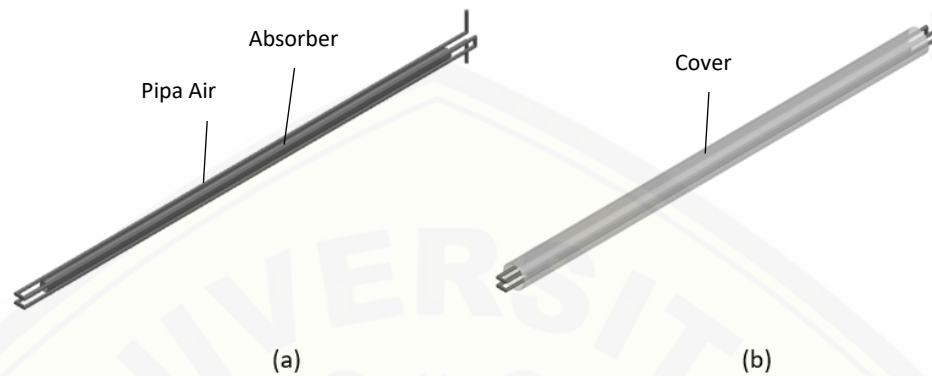
Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2018 sampai dengan bulan Mei 2018.

3.2.2 Tempat Penelitian

- a. Pembuatan kolektor surya dilakukan di Laboratorium Konversi Energi. Pengambilan data dilakukan di Perumahan Surya Milenia, Kecamatan Mangli, Kabupaten Jember
- b. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

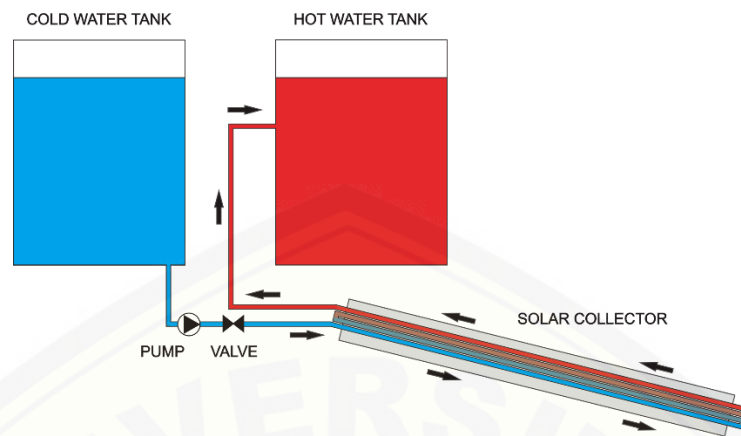
3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Pembuatan Kolektor Surya



Gambar 3.1 Desain bagian dalam kolektor tabung (a), Kolektor tabung dengan covernya (b)

- a. Alat yang digunakan :
 - 1) Gerinda
 - 2) Las butana
 - 3) Meteran
 - 4) Tang jepit
 - 5) Busur derajat
 - 6) Perkat
- b. Bahan yang digunakan :
 - 1) Pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inchi
 - 2) Pipa tembaga berdiameter $\frac{3}{4}$ inchi
 - 3) *Knee* pipa tembaga untuuk diameter $\frac{1}{4}$ inchi
 - 4) Gas butana
 - 5) Korek api
 - 6) Pipa akrilik
 - 7) Styrofoam
 - 8) Plat lembaran stainless steel
 - 9) Cat

3.3.2 Pembuatan Pemanas Air Tenaga Surya (*Solar Water Heater*)

Gambar 3.2 Rencana desain alat pemanas air energi surya

- a. Alat yang digunakan :
 - 1) Gerinda
 - 2) Palu
 - 3) Meteran
 - 4) *Thermometer*
 - 5) Kabel *thermocouple*
 - 6) Stopwatch
 - 7) Gunting pelat
 - 8) Gelas ukur
 - 9) Busur derajat
 - 10) Pompa akuarium
 - 11) Pyranometer
- b. Bahan yang digunakan :
 - 1) Selang plastik berdiameter $\frac{1}{4}$ inchi
 - 2) *Reservoir*
 - 3) Kayu
 - 4) Glasswool
 - 5) Paku
 - 6) Perekat
 - 7) Engsel

- 8) Katup $\frac{1}{4}$ inchi

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dipilih peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain.

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah :

- a. Penambahan konsentrator parabolik
- b. Laju aliran massa air (0,008 kg/s; 0,006 kg/s; 0,001 kg/s)

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel – variabel yang diamati dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh pada variabel bebas . Variabel terikat pada penelitian ini antara lain :

- a. Temperatur *outlet* air
- b. Efisiensi kolektor surya

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variable yang digunakan untuk menyamakan persepsi mengenai penelitian ini. Variabel kontrol yang dipilih yaitu fluida kerja yang digunakan adalah :

- a. Fluida kerja yang digunakan adalah air.
- b. Lama waktu pengamatan dan pengambilan data adalah 8 jam dimulai dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16,00 dengan pengambilan data setiap jamnya.

3.5 Pengambilan Data yang Dilakukan

Pada penelitian ini parameter yang diamati, dan diukur adalah sebagai berikut :

- a. Rata – rata radiasi surya (I).
- b. Temperatur permukaan *cover* (T_{cov}).
- c. Temperatur konsentrator parabolik (T_{pc})
- d. Temperatur permukaan *absorber* (T_{abs}).
- e. Temperatur *inlet* air (T_{in}).
- f. Temperatur *outlet* air (T_{out}).

Tabel 3.1 Tabel pengambilan data pada kolektor A (tanpa konsentrator parabolik)

Jam	I (W/m^2)	T_{cov} ($^{\circ}C$)	T_{abs} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{out} ($^{\circ}C$)
08.00					
09.00					
10.00					
11.00					
12.00					
13.00					
14.00					
15.00					
16.00					

Tabel 3.2 Tabel pengambilan data pada kolektor B (dengan konsentrator parabolik)

Jam	I (W/m ²)	T _{cov} (°C)	T _{pc} (°C)	T _{abs} (°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)
08.00						
09.00						
10.00						
11.00						
12.00						
13.00						
14.00						
15.00						
16.00						

3.6 Tahap – tahap Penelitian

3.6.1 Tahap Persiapan

- Mengecek kondisi dan kelengkapana alat pemanas air tenaga surya.
- Menentukan sudut azimuth (γ) dengan menggunakan persamaan 2.11.
- Menentukan sudut altitude (α) dengan menggunakan persamaan 2.9.
- Menghadapkan dan memposisikan kolektor surya pada posisi sudut yang sudah ditentukan pada langkah b dan c.

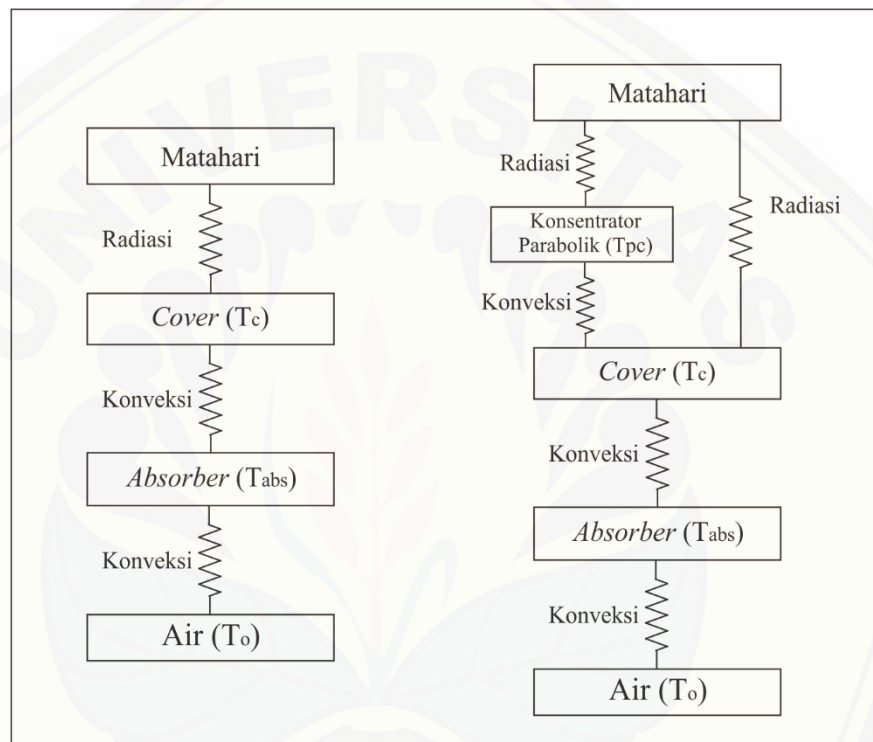
3.6.2 Tahap Penelitian

- Pengambilan data dengan menempatkan dua pemanas air tenaga surya. Pemanas air tenaga surya A tanpa menggunakan konsentrator parabolik, pemanas air tenaga surya B menggunakan konsentrator parabolik.
- Mengukur radiasi surya dengan menggunakan pyranometer digital.
- Mengukur temperatur pada masing – masing titik analisa sesuai pada subbab 3.5 dengan menggunakan *thermometer*.

- d. Pengambilan data diambil selama 8 jam dari pukul 08.00 sampai dengan 16.00 dengan interval 1 jam.

3.6.3 Tahap Pengolahan Data

Berikut merupakan diagram tahanan panas yang terjadi dalam proses pemanasan air.



Gambar 3.3 Diagram tahanan panas tanpa parabolik konsentrator (kiri), diagram tahanan panas dengan konsentrator parabolik (kanan)

Dari data – data yang telah diambil dapat diolah sehingga didapatkan:

- a. Kalor yang diserap air.

$$Q_{air} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})$$

- b. Kalor yang diserap absorber

$$T_f = \frac{T_{out} - T_{in}}{2}$$

$$Q = e \sigma A (T_{abs}^4 - T_f^4)$$

- c. Kalor yang dipancarkan konzentrador parabolik

$$T_{fB} = \frac{T_{out B} - T_{in B}}{2}$$

$$Q_{cpc} = n e \sigma A (T_{abs B}^4 - T_{fB}^4)$$

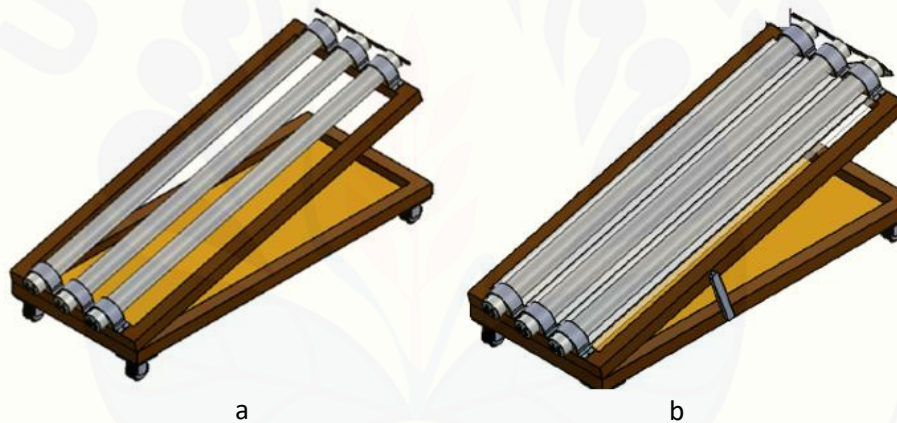
- d. Efisiensi pada pemanas air tenaga surya tanpa konzentrador parabolik

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{n \times I \times A_{cov}} \times 100\%$$

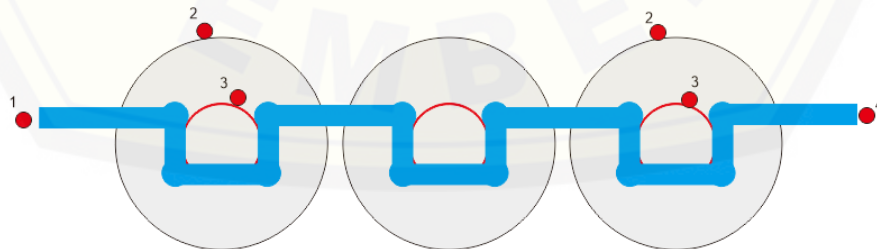
- e. Efisiensi pada pemanas air tenaga surya dengan konzentrador parabolik

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{(n \times I \times A_{cov}) + Q_{cpc}} \times 100\%$$

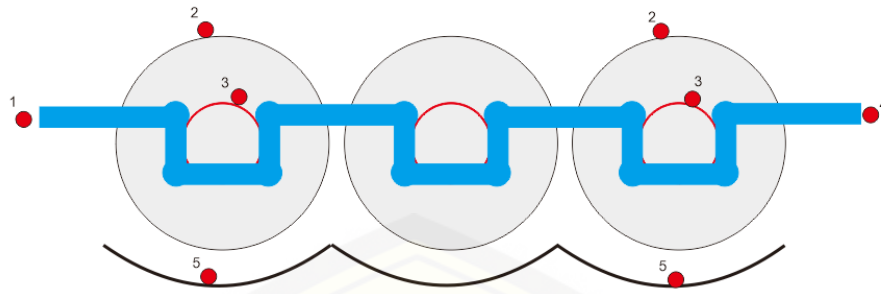
3.7 Desain Alat



Gambar 3.4 a) Desain kolektor A b) Desain kolektor B



Gambar 3.5 Penampang kolektor A

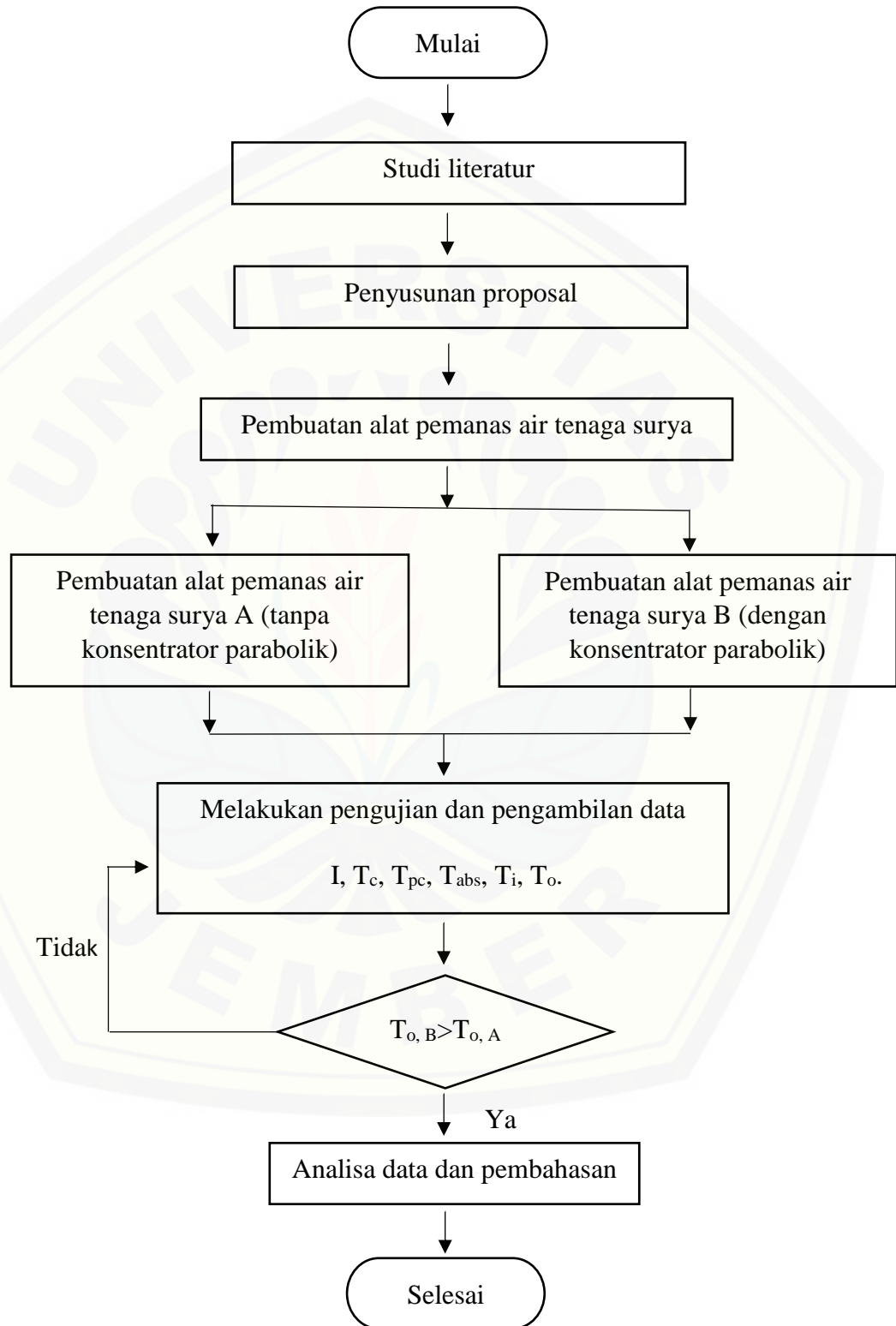


Gambar 3.6 Penampang kolektor B

Pada penelitian ini data temperatur diambil menggunakan termokopel dan termometer digital, peletakan termokopel ditunjukkan pada gambar penampang masing – masing kolektor di atas :

- Nomor 1 merupakan peletakan termokopel pada air yang akan masuk ke dalam kolektor
- Nomor 2 merupakan peletakan termokopel pada *cover* kolektor pada kolektor nomor 1 dan 3.
- Nomor 3 merupakan peletakan termokopel pada bagian *absorber* kolektor pada kolektor nomor 1 dan 3
- Nomor 4 merupakan peletakan termokopel pada bagian air keluaran.
- Nomor 5 merupakan peletakan termokopel pada konsentrator parabolik.

3.8 Diagram Alir Penelitian



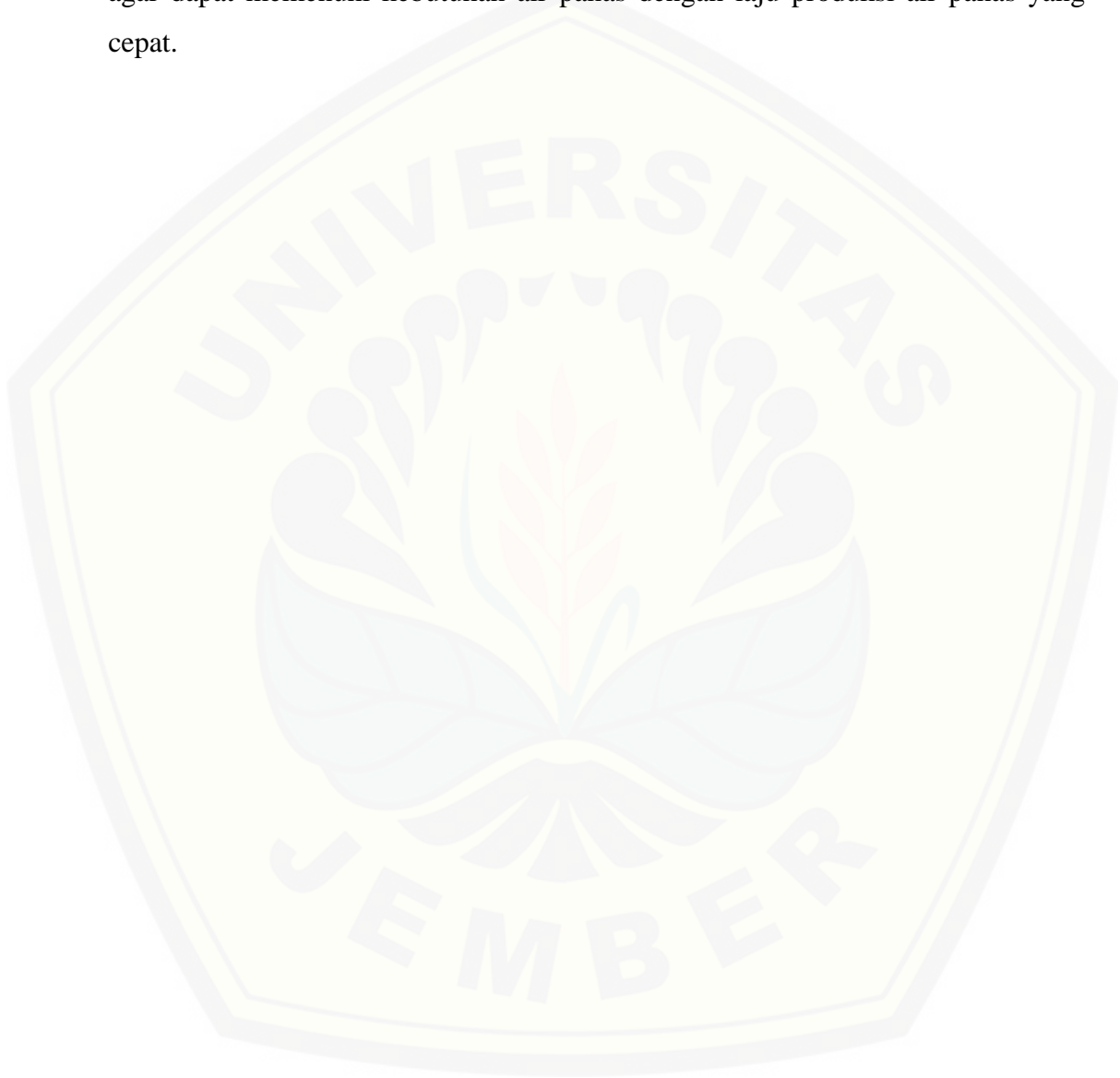
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan konsentrator parabolik pada kolektor membuat temperatur outlet menjadi lebih tinggi. Hal ini dapat dibuktikan dengan salah satu hasil eksperimen pada tanggal 9 April 2018 pukul 11.00 dengan radiasi surya sebesar $1234,6 \text{ W/m}^2$. Temperatur *outlet* pada kolektor tanpa konsentrator sebesar $38,7 \text{ }^\circ\text{C}$ dan pada saat itu juga kolektor dengan konsentrator sebesar $40,4 \text{ }^\circ\text{C}$.
2. Laju aliran massa mempengaruhi temperatur *outlet* dari pemanas air tenaga surya, semakin lambat laju aliran massa maka temperatur *outlet* semakin tinggi. Hasil penelitian pada tanggal 3 April 2018 dengan laju aliran massa $0,008 \text{ kg/s}$ memiliki temperatur tertinggi $37,7 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan intensitas radiasi sebesar $1250,8 \text{ W/m}^2$, pada tanggal 9 April 2018 dengan laju aliran massa $0,006 \text{ kg/s}$ memiliki temperatur tertinggi sebesar $40,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan intensitas radiasi sebesar $1234,6 \text{ W/m}^2$, dan pada tanggal 12 April 2018 dengan laju aliran massa $0,001 \text{ kg/s}$ memiliki temperatur tertinggi sebesar $57,2 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan intensitas radiasi sebesar $1233,7 \text{ W/m}^2$.
3. Penggunaan konsentrator parabolik berpengaruh baik pada efisiensi pemanas air tenaga surya. Efisiensi tertinggi pada laju aliran massa $0,008 \text{ kg/s}$ mencapai $57,99\%$ pada kolektor yang menggunakan konsentrator parabolik, efisiensi tersebut lebih tinggi $5,52 \%$ dari kolektor tanpa konsentrator. Efisiensi tertinggi pada laju aliran massa $0,006 \text{ kg/s}$ mencapai $55,51\%$ pada kolektor yang menggunakan konsentrator parabolik, efisiensi tersebut lebih tinggi $7,23 \%$ dari kolektor tanpa konsentrator. Efisiensi tertinggi pada laju aliran massa $0,001 \text{ kg/s}$ mencapai $21,60\%$ pada kolektor yang menggunakan konsentrator parabolik, efisiensi tersebut lebih tinggi $7,0 \%$ dari kolektor tanpa konsentrator.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih fokus dalam pengembangan kolektor surya agar dapat lebih menghasilkan air panas dengan temperatur tinggi dan dengan laju aliran massa yang tinggi. Hal ini dimaksudkan agar dapat memenuhi kebutuhan air panas dengan laju produksi air panas yang cepat.



DAFTAR PUSTAKA

- Atmodigdo, R., 2016. *Perancangan Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Kapasitas 60 Liter dan Insulasi Termalnya*, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Behnam, P. & Shafii, M. B., 2016. Examination of a solar desalination system equipped with an air bubble column humidifier, evacuated tube collectors and thermosyphon heat pipes. *Desalination*, 397(), pp. 30-37.
- Darwin, Maulana, M. I. & A., I. Z., 2015. Pengaruh Bentuk Kolektor Konsentrator Terhadap Efisiensi Pemanas Air Surya. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, Volume 20.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A., 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dwivedi, V., 2009. *Thermal Modelling and Control of Domestic Hot Water Tank*, Glasgow: University of Strathclyde.
- Harper, G. D. J., 2007. *Solar Energy Projects for The Evil Genius*. 1st ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Holman, J. P., 2010. *Heat Transfer*. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- Jansen, T. J., 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. 1st ed. Jakarta: PT PRADNYA PARAMITA.
- Liu, Z., Tao, G. & Wang, Q., 2014. A novel all-glass evacuated tabung solar steam generator with simplified CPC. *Energy Conversion and Management*, 86(), pp. 175-185.
- Li, X., Dai, Y. J., Li, Y. & Wang, R. Z., 2013. Comparative study on two novel intermediate temperatur CPC solar collectors with the U-shape evacuated tabung absorber. *Solar Energy*, 93(), pp. 220-234.
- Lubis, A., 2007. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), pp. 155-162.
- Mishra, R. K., Garg, V. & Tiwari, G. N., 2015. Thermal modeling and development of characteristic equations of evacuated tabung collector (ETC). *Solar Energy*, 116(), pp. 165-176.

- Mishra, R. K., Garg, V. & Tiwari, G. N., 2017. Energy matrices of U-shaped evacuated tabung collector (ETC) integrated with compound parabolik concentrator (CPC). *Solar Energy*, Volume 153, pp. 531-539.
- Murugavel, K. K. & Devanarayanan, K., 2014. Integrated collector storage solar water heater with compound parabolik concentrator – development and progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39(), pp. 51-64.
- Muthukumar, P., Naik, B. K., Varshney, A. & Somayaji, C., 2016. Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube Solar Collector Using Different Working Fluids. *Energy Procedia*, 90(), pp. 227-237.
- Nayak, J. K. & Amer, E. H., 2000. Experimental and Theoretical Evaluation of Dynamic Test Procedures for Solar Flat-plate Collectors. *Solar Energy*, 69(5), pp. 377-401.
- Ocampo, B. R. et al., 2007. Photovoltaic/thermal solar hybrid system with bifacial PV module and transparent plane collector. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(), pp. 1966-1971.
- Oktadianto, M. E., 2017. *Analisis Thermal Kolektor Surya Dilengkapi Phase Change Material (PCM) Campuran Parafin - Minyak Jarak*, Jember: Universitas Jember.
- Saputra, G. A. H., 2017. *Studi Eksperimental Perbandingan Pemanas Air Tenaga Surya dengan Kolektor Surya Plat Datar, Plat Bergelombang Setengah Lingkaran, dan Plat Bergelombang Segitiga*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sawhney, R. L., Inderjit & Bansal, N. K., 1984. Steady State Thermal Analysis of an Evacuated Tabung Collector with a CPC Booster. *Solar & Wind Technology*, 1(4), pp. 237-244.
- Stoecker, W. F. & Jones, W. J., 1982. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. 2nd ed. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Tiwari, G. N., Mishra, R. K. & Solanki, S. C., 2011. Photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling. *Applied Energy*, 88(7), pp. 2287-2304.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,008 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov A} ($^{\circ}C$)	T_{Abs A} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out A} ($^{\circ}C$)
8:00	998,2	33,1	28,7	27,4	30,6
9:00	1169,8	36,0	29,7	27,5	33,6
10:00	1060,8	35,8	29,5	27,1	32,0
11:00	935,7	35,5	29,2	27,2	33,1
12:00	1250,9	37,4	31,6	27,5	36,7
13:00	1195,9	36,7	28,3	27,5	34,2
14:00	1004,1	36,6	31,5	27,4	33,4
15:00	625,9	36,4	29,9	27,1	30,9
16:00	620,0	34,3	28,4	27,9	30,5

Lampiran 2. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,008 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov B} ($^{\circ}C$)	T_{pc} ($^{\circ}C$)	T_{Abs B} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out B} ($^{\circ}C$)
8:00	998,2	33,3	37,5	29,9	27,4	30,5
9:00	1169,8	35,3	39,1	31,7	27,5	34,1
10:00	1060,8	35,2	39,4	32,1	27,1	33,2
11:00	935,7	35,4	39,4	31,7	27,2	34,8
12:00	1250,9	37,0	41,1	33,4	27,5	37,7
13:00	1195,9	35,2	38,4	32,4	27,5	34,9
14:00	1004,1	31,9	39,0	32,3	27,4	34,1
15:00	625,9	35,1	37,6	31,1	27,1	31,2
16:00	620,0	32,9	33,9	29,8	27,9	31,8

Lampiran 3. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,006 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov A} ($^{\circ}C$)	T_{Abs A} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out A} ($^{\circ}C$)
8:00	876,9	37,1	33,9	27,5	34,4
9:00	1032,1	38,1	35,4	27,4	35,9
10:00	1228,8	39,0	34,3	28,0	38,2
11:00	1234,6	39,2	32,9	27,6	38,7
12:00	1230,7	37,8	32,1	27,9	38,7
13:00	1013,6	35,0	32,5	27,7	36,3
14:00	952,4	33,8	32,2	27,4	35,7
15:00	872,1	30,5	30,1	28,1	34,5
16:00	791,0	28,5	29,6	27,1	32,4

Lampiran 4. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,006 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov B} ($^{\circ}C$)	T_{pc} ($^{\circ}C$)	T_{Abs B} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out B} ($^{\circ}C$)
8:00	876,9	37,2	44,8	29,5	27,5	34,3
9:00	1032,1	39,9	42,9	31,9	27,4	36,2
10:00	1228,8	40,8	42,7	31,5	28,0	39,0
11:00	1234,6	40,7	40,4	32,4	27,6	40,4
12:00	1230,7	35,0	42,5	28,7	27,9	39,1
13:00	1013,6	35,6	37,8	34,1	27,7	36,8
14:00	952,4	33,4	35,8	34,0	27,4	35,0
15:00	872,1	31,3	31,6	31,7	28,1	34,5
16:00	791,0	28,9	28,5	30,6	27,1	32,9

Lampiran 5. Tabel data kolektor A dengan laju aliran massa 0,001 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov A} ($^{\circ}C$)	T_{Abs A} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out A} ($^{\circ}C$)
8:00	1039,5	37,7	38,2	27,4	39,7
9:00	1114,8	40,2	45,7	27,3	41,0
10:00	1103,1	40,4	45,6	26,9	44,1
11:00	1233,7	39,0	39,5	27,3	47,4
12:00	977,3	40,5	41,2	28,1	43,1
13:00	711,2	37,0	38,8	27,7	38,2
14:00	924,1	37,6	40,6	27,4	41,2
15:00	432,7	32,9	33,5	28,4	34,0
16:00	250,1	31,7	33,6	28,1	30,6

Lampiran 6. Tabel data kolektor B dengan laju aliran massa 0,001 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T_{Cov B} ($^{\circ}C$)	T_{pc} ($^{\circ}C$)	T_{Abs B} ($^{\circ}C$)	T_{in} ($^{\circ}C$)	T_{Out B} ($^{\circ}C$)
8:00	1039,5	35,6	42,6	35,6	27,4	40,7
9:00	1114,8	40,2	46,8	36,6	27,3	43,8
10:00	1103,1	42,3	43,4	38,1	26,9	52,2
11:00	1233,7	42,6	40,1	37,5	27,3	57,2
12:00	977,3	40,9	39,6	37,7	28,1	51,6
13:00	711,2	37,9	37,2	35,6	27,7	43,0
14:00	924,1	38,3	31,7	73,1	27,4	47,8
15:00	432,7	33,0	33,5	34,8	28,4	35,2
16:00	250,1	32,0	32,1	30,6	28,1	31,8

Lampiran 7. Perhitungan

a. Perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran 0,008 kg/s

Diketahui : Temperatur air masuk (T_{in}) = 27,4 °C
 Temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 30,6 °C
 Laju aliran massa air (\dot{m}) = 0,008 kg/s
 Kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C

Ditanyakan : Kalor yang diserap air (Q_A)

Jawab : $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$
 $Q_{air} = 0,008 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (30,6 - 27,4) C$
 $Q_{air} = 107,52 W$

b. Perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran 0,006 kg/s

Diketahui : Temperatur air masuk (T_{in}) = 27,5 °C
 Temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 34,4 °C
 Laju aliran massa air (\dot{m}) = 0,006 kg/s
 Kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C

Ditanyakan : Kalor yang diserap air (Q_A)

Jawab : $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$
 $Q_{air} = 0,006 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (34,4 - 27,5) C$
 $Q_{air} = 172,872 W$

c. Perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran 0,001 kg/s

Diketahui : Temperatur air masuk (T_{in}) = 27,4 °C
 Temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 39,7 °C
 Laju aliran massa air (\dot{m}) = 0,001 kg/s
 Kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C

Ditanyakan : Kalor yang diserap air (Q_A)

Jawab : $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$
 $Q_{air} = 0,001 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (39,7 - 27,4) C$
 $Q_{air} = 51,66 W$

d. Perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran 0,008 kg/s

Diketahui :

- Temperatur absorber ($T_{abs A}$) = 28,7 °C
- Temperatur inlet (T_{in}) = 27,4 °C
- Temperatur outlet (T_{out}) = 30,6 °C
- Emisifitas absorber = 1
- Konstanta boltzman (σ) = $5,67 \times 10^{-8}$ W/mK⁴

Ditanyakan : Kalor yang diserap absorber (Q_{abs})

Jawab :

$$A_{abs} = (\pi \cdot 0,00635m \cdot 12m) + (\pi \cdot 0,01905m \cdot 3m)$$

$$= 0,418 \text{ m}^2$$

$$T_f = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

$$= \frac{30,6 + 27,4}{2}$$

$$= 29,0 \text{ °C}$$

$$Q_{abs} = \frac{e \sigma A (T_{abs}^4 - T_f^4)}{3600}$$

$$= \frac{1 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot 0,418 \text{ m}^2 \cdot ((273 + 28,7)^4 - (273 + 29,0)^4)}{3600}$$

$$= 0.0011 \text{ W}$$

e. Perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran 0,006 kg/s

Diketahui :

- Temperatur absorber ($T_{abs A}$) = 33,9 °C
- Temperatur inlet (T_{in}) = 27,5 °C
- Temperatur outlet (T_{out}) = 34,4 °C
- Emisifitas absorber = 1
- Konstanta boltzman (σ) = $5,67 \times 10^{-8}$ W/mK⁴

Ditanyakan : Kalor yang diserap absorber (Q_{abs})

Jawab :

$$A_{abs} = (\pi \cdot 0,00635m \cdot 12m) + (\pi \cdot 0,01905m \cdot 3m)$$

$$= 0,418 \text{ m}^2$$

$$T_f = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

$$= \frac{34,4 + 27,5}{2}$$

$$= 31,0 \text{ °C}$$

$$Q_{abs} = \frac{e \sigma A (T_{abs}^4 - T_f^4)}{3600}$$

$$= \frac{1 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot 0,418 \text{ m}^2 \cdot ((273+33,9)^4 - (273+31,0)^4)}{3600}$$

$$= 0.0025 \text{ W}$$

f. Perhitungan kalor yang diserap absorber pada laju aliran 0,001 kg/s

Diketahui : Temperatur absorber ($T_{\text{abs A}}$) = 38,2 °C
 Temperatur inlet (T_{in}) = 27,4 °C
 Temperatur outlet (T_{out}) = 39,7 °C
 Emisifitas absorber = 1
 Konstanta boltzman (σ) = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$

Ditanyakan : Kalor yang diserap absorber (Q_{abs})

Jawab : $A_{\text{abs}} = (\pi \cdot 0,00635 \text{ m} \cdot 12 \text{ m}) + (\pi \cdot 0,01905 \text{ m} \cdot 3 \text{ m})$
 $= 0,418 \text{ m}^2$

$$T_f = \frac{T_{\text{out}} + T_{\text{in}}}{2}$$

$$= \frac{39,7 + 27,4}{2}$$

$$= 33,5 \text{ °C}$$

$$Q_{\text{abs}} = \frac{e \sigma A (T_{\text{abs}}^4 - T_f^4)}{3600}$$

$$= \frac{1 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot 0,418 \text{ m}^2 \cdot ((273+38,2)^4 - (273+33,5)^4)}{3600}$$

$$= 0.0045 \text{ W}$$

g. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya tanpa konsentrator pada laju aliran 0,008 kg/s

Diketahui : Kalor yang diserap air (Q_A) = 107,52 W
 Kalor yang diserap absorber (Q_{absA}) = 0.0011 W
 Intensitas radiasi matahari (I) = 998,2 W/m²
 Jumlah kolektor (n) = 3

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab : $A_{\text{cov}} = (\pi \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})$
 $= 0,157 \text{ m}^2$

$$\eta = \frac{Q_{\text{air}} + Q_{\text{abs}}}{n \times I \times A_{\text{cov}}}$$

$$= \frac{107,52 \text{ W} + 0.0011 \text{ W}}{3 \times 998,2 \text{ W/m}^2 \times 0,157 \text{ m}^2}$$

$$= 22.87 \%$$

- h. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya dengan konzentrador pada laju aliran 0,008 kg/s

Diketahui	: Kalor yang diserap air (Q_B)	= 104,16 W
	Kalor yang diserap absorber (Q_{absB})	= 0.0011 W
	Intensitas radiasi matahari (I)	= 998,2 W/m ²
	Jumlah kolektor (n)	= 3
	Jumlah konzentrador parabolik (n)	= 3
	Emisifitas konzentrador parabolik	= 0,074
	Temperatur absorber ($T_{abs B}$)	= 29,9 °C
	Temperatur inlet (T_{in})	= 27,4 °C
	Temperatur outlet ($T_{out B}$)	= 30,5 °C

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab :

$$A_{cov} = (\pi \cdot d \cdot l)$$

$$= (\pi \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})$$

$$= 0,157 \text{ m}^2$$

$$A_{cpc} = p \cdot l$$

$$= 0,92 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2$$

$$T_{fB} = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

$$= \frac{30,5 + 27,4}{2}$$

$$= 28,9 \text{ °C}$$

$$Q_{cpc} = n e \sigma A_{cpc} (T_{abs B}^4 - T_{fB}^4)$$

$$= 3 \cdot 0,074 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot 0,15 \text{ m}^2 \cdot ((273 + 29,9)^4 - (273 + 28,9)^4)$$

$$= 1.84 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{(n \times I \times A_{cov}) + Q_{cpc}}$$

$$= \frac{104,16 \text{ W} + 0.0011 \text{ W}}{(3 \times 998,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,157 \text{ m}^2) + 1.84 \text{ W}}$$

$$= 22.07 \%$$

- i. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya tanpa konsentrator pada laju aliran 0,006 kg/s

Diketahui : Kalor yang diserap air (Q_A) = 172,872 W
 Kalor yang diserap absorber (Q_{absA}) = 0.0025 W
 Intensitas radiasi matahari (I) = 876,9W/m²
 Jumlah kolektor (n) = 3

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab : $A_{cov} = (\pi \cdot 0,05m \cdot 1m)$

$$= 0,157 \text{ m}^2$$

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{n \times I \times A_{cov}}$$

$$= \frac{172,872 \text{ W} + 0.0025 \text{ W}}{3 \times 876,9 \text{ W/m}^2 \times 0,157 \text{ m}^2}$$

$$= 41.86 \%$$

- j. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya dengan konsentrator pada laju aliran 0,006 kg/s

Diketahui : Kalor yang diserap air (Q_B) = 170,35 W
 Kalor yang diserap absorber (Q_{absB}) = 0.0024 W
 Intensitas radiasi matahari (I) = 876,9 W/m²
 Jumlah kolektor (n) = 3
 Jumlah konsentrator parabolik (n) = 3
 Emisifitas konsentrator parabolik = 0,074
 Temperatur absorber ($T_{abs B}$) = 29,5°C
 Temperatur inlet (T_{in}) = 27,5 °C
 Temperatur outlet ($T_{out B}$) = 34,3 °C

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab : $A_{cov} = (\pi \cdot d \cdot l)$

$$= (\pi \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})$$

$$= 0,157 \text{ m}^2$$

$$A_{cpc} = p \cdot l$$

$$= 0,92 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2$$

$$T_{fB} = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

$$= \frac{34,3 + 27,5}{2}$$

$$= 30,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{cpc} = n e \sigma A_{cpc} (T_{absB}^4 - T_{fB}^4)$$

$$= 3 \cdot 0,074 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot 0,15 \text{ m}^2 \cdot$$

$$((273 + 29,5)^4 - (273 + 30,9)^4)$$

$$= 3,14 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{(n \cdot I \cdot A_{cov}) + Q_{cpc}}$$

$$= \frac{170,35 \text{ W} + 0,0024 \text{ W}}{(3 \times 876,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,157 \text{ m}^2) + 3,14 \text{ W}}$$

$$= 40,93 \%$$

- k. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya tanpa konsentrator pada laju aliran 0,001 kg/s

Diketahui : Kalor yang diserap air (Q_A) = 51,66 W

Kalor yang diserap absorber (Q_{absA}) = 0,0045 W

Intensitas radiasi matahari (I) = 1039,5 W/m²

Jumlah kolektor (n) = 3

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab : $A_{cov} = (\pi \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})$

$$= 0,157 \text{ m}^2$$

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{n \cdot I \cdot A_{cov}}$$

$$= \frac{51,66 \text{ W} + 0,0045 \text{ W}}{3 \times 1039,5 \text{ W/m}^2 \times 0,157 \text{ m}^2}$$

$$= 10,55 \%$$

1. Perhitungan efisiensi pemanas air tenaga surya dengan konzentrador pada laju aliran 0,001 kg/s

Diketahui :

- Kalor yang diserap air (Q_B) = 55,86 W
- Kalor yang diserap absorber (Q_{absB}) = 0.0049 W
- Intensitas radiasi matahari (I) = 1039,5 W/m²
- Jumlah kolektor (n) = 3
- Jumlah konzentrador parabolik (n) = 3
- Emisifitas konzentrador parabolik = 0,074
- Temperatur absorber ($T_{abs B}$) = 35,6 °C
- Temperatur inlet (T_{in}) = 27,4 °C
- Temperatur outlet ($T_{out B}$) = 40,7 °C

Ditanyakan : Efisiensi (η)

Jawab :

$$A_{cov} = (\pi \cdot d \cdot l)$$

$$= (\pi \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})$$

$$= 0,157 \text{ m}^2$$

$$A_{cpc} = p \cdot l$$

$$= 0,92 \text{ m} \cdot 0,16 \text{ m}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2$$

$$T_{fB} = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

$$= \frac{40,7 + 27,4}{2}$$

$$= 34,0 \text{ °C}$$

$$Q_{cpc} = n e \sigma A_{cpc} (T_{abs B}^4 - T_{fB}^4)$$

$$= 3 \cdot 0,074 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W } 0,15 \text{ m}^2 \cdot$$

$$((273 + 35,6)^4 - (273 + 34,0)^4)$$

$$= 1,95 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{Q_{air} + Q_{abs}}{(n \cdot I \cdot A_{cov}) + Q_{cpc}}$$

$$= \frac{55,86 \text{ W} + 0,0049 \text{ W}}{(3 \cdot 998,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,157 \text{ m}^2) + 1,95 \text{ W}}$$

$$= 11,37 \%$$

Lampiran 8. Dokumentasi pembuatan kolektor



Lampiran 9. Pembuatan frame kolektor surya



Lampiran 10. Pemanas air tenaga surya



Lampiran 11. Pengukuran dan penentuan laju aliran massa air



Lampiran 12. Pengambilan data radiasi matahari menggunakan pyranometer digital



Lampiran 13. Pengambilan data temperatur menggunakan termokopel dan termometer digital

