



**ANALISIS UNJUK KERJA *EVACUATED TUBE SOLAR*  
*COLLECTOR* TERKONSENTRASI DENGAN VARIASI PCM  
(*PARAFFIN* DAN *BEEWAX*)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Izhar Amedio Foncesa**

**NIM 141910101095**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**ANALISIS UNJUK KERJA *EVACUATED TUBE SOLAR*  
*COLLECTOR* TERKONSENTRASI DENGAN VARIASI PCM  
(*PARAFFIN* DAN *BEEWAX*)**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Izhar Amedio Foncesa**

**NIM 141910101095**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

### **PERSEMBAHAN**

Dengan segala puji syukur kehadirat Allah SWT maka skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah Swt. karena telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ayahanda M. Syamsul Huda dan Ibunda Vivit Elvida yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil.
3. Guru-guru SDN 404 Buncitan, SMPN 1 Sedati Sidoarjo, SMAN 1 Waru, SMAN 1 Gedangan Sidoarjo dan dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Jember yang selalu menegur segala kelalaian dan setia menemani dalam menuntut ilmu.
5. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah menyediakan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.

**MOTO**

“Aja gumunan, aja getunan, aja kagetan, aja aleman”

(Eyang Semar)

“Sak bejo-bejane wong kang lali, isih bejo wong kang eling kelawan waspada”

(Mas Ngabei Ranggawarsita)

*“If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration.”*

(Nicola Tesla)

*“There comes a time when the mind takes a higher plane of knowledge but can never prove how it got there”*

(Albert Einstein)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Izhar Amedio Foncesa Noor

NIM : 141910101095

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Analisis Unjuk Kerja Evacuated Tube Solar Collector Terkonsentrasi Dengan Variasi PCM (Paraffin dan Beewax)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2019

Yang Menyatakan,

Izhar Amedio Foncesa Noor

141910101095

**SKRIPSI**

**ANALISIS UNJUK KERJA *EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTOR*  
TERKONSENTRASI DENGAN VARIASI PCM  
(*PARAFFIN* DAN *BEEWAX*)**

Oleh

**Izhar Amedio Foncesa Noor**

**NIM 141910101095**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Aris Zainul Muttaqin, S.T, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: M. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.

**PENGESAHAN SKRIPSI**

Skripsi berjudul “Analisis Unjuk Kerja *Evacuated Tube Solar Collector* Terkonsentrasi Dengan Variasi PCM (*Paraffin* Dan *Beewax*)” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Kamis, 03 Januari 2019

Tempat : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

**Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.**  
NIP 19681207 199512 1 002

**M. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.**  
NIP 19691122 199702 1 001

Penguji,

Dosen Penguji Utama,

Dosen Penguji Anggota,

**Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.**  
NIP 19680617 199501 1 001

**Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.**  
NIP 19600812 199802 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

**Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM**  
NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Analisis Unjuk Kerja *Evacuated Tube Solar Collector* Terkonsentrasi Dengan Variasi PCM (*Paraffin* dan *Beewax*);** Izhar Amedio Foncesa Noor, 141910101095; 2019; 84 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemanfaatan energi surya untuk pemanas air tenaga yang menggunakan *evacuated tube solar collector* (ETC) dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya menggunakan seperangkat panel kolektor silinder berpenutup kaca yang didalamnya dilengkapi dengan absorber silinder dan pipa air, serta *inner tube* dari *collector* dikondisikan tetap dalam keadaan tertutup agar menghindari konveksi dengan udara lingkungan yang merugikan. Untuk memaksimalkan kinerja ETC dapat menggunakan PCM (*phase change materials*) sebagai bahan penyimpan kalor. *Beewax* adalah bahan organik yang memenuhi beberapa kriteria PCM. Keuntungan penggunaan *beewax* sebagai PCM adalah titik leleh yang cukup tinggi dan memiliki nilai ekonomis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan PCM (*paraffin-beewax*) serta mendapatkan komposisi PCM (*paraffin-beewax*) yang baik pada kolektor pemanas air tenaga surya dengan membandingkan temperatur air *outlet*, kalor yang tersimpan pada PCM, dan efisiensi pada kolektor surya. Hasil dari penelitian ini dapat menentukan apakah penggunaan PCM dengan komposisi *paraffin* 70% dan *beewax* 30% memiliki kinerja lebih baik dibandingkan dengan PCM dengan komposisi *paraffin* 30% dan *beewax* 70% pada kolektor pemanas air tenaga surya.

Komposisi PCM mempengaruhi temperatur PCM dari pemanas air tenaga surya. Temperatur outlet pada kolektor A dengan PCM (*paraffin* 70% dan *beewax* 30%) lebih tinggi daripada temperatur outlet pada kolektor B dengan PCM (*paraffin* 30% dan *beewax* 70%). Namun pada laju aliran massa 0,004 kg/s dan 0,001 kg/s temperatur outlet pada kolektor B lebih tinggi pada pukul 15.30 sampai 16.00 dan 13.00 sampai 16.00. Hal ini disebabkan karena kolektor B memiliki titik leleh lebih



tinggi sehingga kalor yang tersimpan tinggi dan dapat menaikkan nilai temperatur air outlet pemanas air lebih lama ketika terjadi penurunan intensitas radiasi matahari.

Temperatur PCM mempengaruhi kalor yang diserap oleh PCM. Semakin besar perbedaan nilai  $T_{x-30}$  dengan  $T_x$  pada pukul 08.00 sampai pukul 11.30 maka semakin besar kalor yang diserap PCM. Sebaliknya, semakin besar perbedaan nilai  $T_{x-30}$  dengan  $T_x$  pada pukul 12.00 sampai 16.00 maka semakin kecil kalor yang diserap PCM.

Komposisi PCM mempengaruhi efisiensi dari pemanas air tenaga surya. Nilai efisiensi lebih tinggi pada pukul 16.00 daripada pukul 08.00 dialami pada laju aliran massa 0,004 kg/s dan 0,001 kg/s, sedangkan pada laju aliran massa 0,008 kg/s nilai efisiensi pada pukul 16.00 lebih rendah daripada pukul 08.00. Hal tersebut dikarenakan tingginya nilai massa kali kalor jenis termal PCM pada kolektor A dan B pada laju aliran massa 0,008 kg/s sehingga PCM tidak berfungsi optimal.

## SUMMARY

*Performance Analysis of Evacuated Tube Solar Collector Concentrated with PCM Variations (Paraffin and Beewax); Izhar Amedio Foncesa Noor, 141910101095; 2019; 84 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*The use of solar energy for power water heaters using evacuated solar collector tubes (ETCs) is carried out by collecting solar energy using a set of glass-enclosed cylindrical collector panels inside that are equipped with cylindrical absorbers and water pipes, and tubes in a closed collector to avoid convection with outside air. Using PCM (phase change materials) as heat storage materials can maximize ETC performance. Beewax is an organic material that meets several PCM criteria. The advantage of using beewax as PCM is that the melting point is quite high and has economic value.*

*This study aims to determine the effect of using PCM (paraffin-beewax) and obtain a good PCM (paraffin-beewax) composition in solar water heater collectors by comparing outlet water temperature, heat stored in PCM, and efficiency in solar collectors. The results of this study can determine whether the use of PCM with a composition of 70% paraffin and beewax 30% has a better performance compared to PCM with a composition of 30% paraffin and 70% beewax in solar water heater collectors.*

*The composition of PCM affects the temperature of PCM from solar water heaters. The outlet temperature in collector A with PCM (paraffin 70% and beewax 30%) is higher than the outlet temperature on collector B with PCM (Paraffin 30% and Beewax 70%). But at mass flow rates of 0.004 kg / s and 0.001 kg / s the outlet temperature at collector B is higher at 15.30 to 16.00 and 13.00 to 16.00. This is because collector B has a higher melting point so that the heat stored is high and can increase the temperature of the outlet water heater temperature longer when there is a decrease in the intensity of solar radiation.*

*PCM temperature affects the heat absorbed by PCM. The greater the difference in the value of  $T_x-30$  with  $T_x$  at 08.00 until 11:30 the greater the heat*

*absorbed by PCM. Conversely, the greater the difference in the value of  $T_x-30$  with  $T_x$  at 12.00 to 16.00, the smaller the heat absorbed by PCM.*

*The composition of PCM affects the efficiency of solar water heaters. Higher efficiency values at 16.00 than 08.00 are experienced at mass flow rates of 0.004 kg / s and 0.001 kg / s, while at mass flow rates of 0.008 kg / s the efficiency value at 16.00 is lower than 08.00. This is due to the high mass value of heat times of PCM thermal types at collectors A and B at a mass flow rate of 0.008 kg / s so that PCM does not function optimally.*



## PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja *Evacuated Tube Solar Collector* Terkonsentrasi Dengan Variasi PCM (*Paraffin* dan *Beewax*)”. 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. Aris Zainul Muttaqin, 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, Januari 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>SKRIPSI</b> .....	v
<b>PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	6
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	6
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
<b>2.1 Energi Non-Konvensional</b> .....	8
<b>2.2 Radiasi Matahari</b> .....	8
2.2.1 <i>Solar Irradiance</i> .....	10
2.2.2 Pemanfaatan Radiasi Matahari .....	11

<b>2.3 Kolektor Surya</b> .....	12
2.3.1 Kolektor Surya Plat Datar .....	13
2.3.2 Kolektor Surya Terkonsentrasi .....	15
2.3.3 <i>Evacuated Tube Solar Collector</i> .....	16
<b>2.4 Asas Black</b> .....	17
<b>2.5 Perpindahan Panas pada Kolektor Surya</b> .....	18
2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	18
2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi.....	22
2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi .....	23
<b>2.6 <i>Thermal Energi Storage (TES)</i></b> .....	27
<b>2.7 Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya</b> .....	32
<b>2.8 PCM (<i>Phase Change Material</i>)</b> .....	33
<b>2.9 Klasifikasi PCM</b> .....	33
2.9.1 PCMs Organik .....	33
2.9.2 PCMs Anorganik .....	36
2.9.3 PCMs Kombinasi.....	37
<b>2.10 Aplikasi PCM</b> .....	38
<b>2.11 Pemilihan PCM</b> .....	39
<b>2.12 Beewax Sebagai PCM</b> .....	39
<b>2.13 Penelitian – Penelitian Sebelumnya</b> .....	43
2.13.1 Penelitian oleh Sawhney dkk (1984) .....	43
2.13.2 Penelitian oleh Li dkk (2013) .....	44
2.13.3 Penelitian oleh Murugavel dkk (2014) .....	44
2.13.4 Penelitian oleh Mishra dkk (2015).....	44
2.13.5 Penelitian oleh Mishra dkk (2017).....	45

2.13.6 Penelitian oleh Abkoresh dkk (2017) .....	46
2.13.7 Penelitian oleh Sekar dkk (2016) .....	47
<b>2.14 Hipotesis</b> .....	48
<b>2.15 Pengujian Hipotesis</b> .....	49
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	51
<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	51
<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	51
3.2.1 Waktu Penelitian.....	51
3.2.2 Tempat Penelitian.....	51
<b>3.3 Alat dan Bahan</b> .....	52
3.3.1 Pembuatan Kolektor Surya .....	52
3.3.2 Pembuatan Pemanas Air Energi Surya ( <i>Solar Water Heater</i> ).....	53
<b>3.4 Variabel Penelitian</b> .....	54
3.4.1 Variabel Bebas .....	54
3.4.2 Variabel Terikat .....	54
3.4.3 Variabel Kontrol .....	54
<b>3.5 Pengamatan yang Dilakukan</b> .....	55
<b>3.6 Tahapan-tahapan Penelitian</b> .....	56
3.6.1 Tahap Persiapan.....	56
3.6.2 Tahapan Penelitian .....	57
3.6.3 Pengolahan Data .....	57
<b>3.7 Diagram Alir Penelitian</b> .....	59
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	60
<b>4.1 Data Hasil Penelitian</b> .....	60

4.1.1 Intensitas Radiasi Matahari .....	60
4.1.2 Temperatur <i>Outlet</i> Air .....	61
4.1.3 Temperatur <i>Phase Change Material</i> .....	63
4.1.4 Kalor yang Diserap Air.....	64
4.1.5 Kalor yang Diserap PCM .....	65
4.1.6 Kalor Radiasi Langsung Matahari.....	66
4.1.7 Kalor Pantulan Radiasi <i>Parabolic Consentrator</i> .....	67
4.1.8 Kalor Radiasi <i>Parabolic Concentrator</i> .....	68
4.1.9 Kalor Radiasi Langsung yang Diserap Absorber .....	69
4.1.10 Kalor Pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang diserap Absorber .....	70
4.1.11 Kalor Radiasi Pancaran <i>Parabolic Concentrator</i> yang Diserap Absorber.....	71
4.1.12 Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya .....	71
<b>4.2 Analisa dan Pembahasan .....</b>	<b>73</b>
4.2.1 Analisa Data Intensitas Matahari .....	73
4.2.2 Temperatur <i>Outlet</i> Air .....	73
4.2.3 Kalor yang Diserap Air.....	75
4.2.4 Temperatur PCM .....	76
4.2.5 Kalor yang Diserap PCM .....	77
4.2.6 Efisiensi Pemanas Air Energi Surya .....	80
<b>BAB 5. KESIMPULAN .....</b>	<b>83</b>
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



**LAMPIRAN**



**DAFTAR GAMBAR**

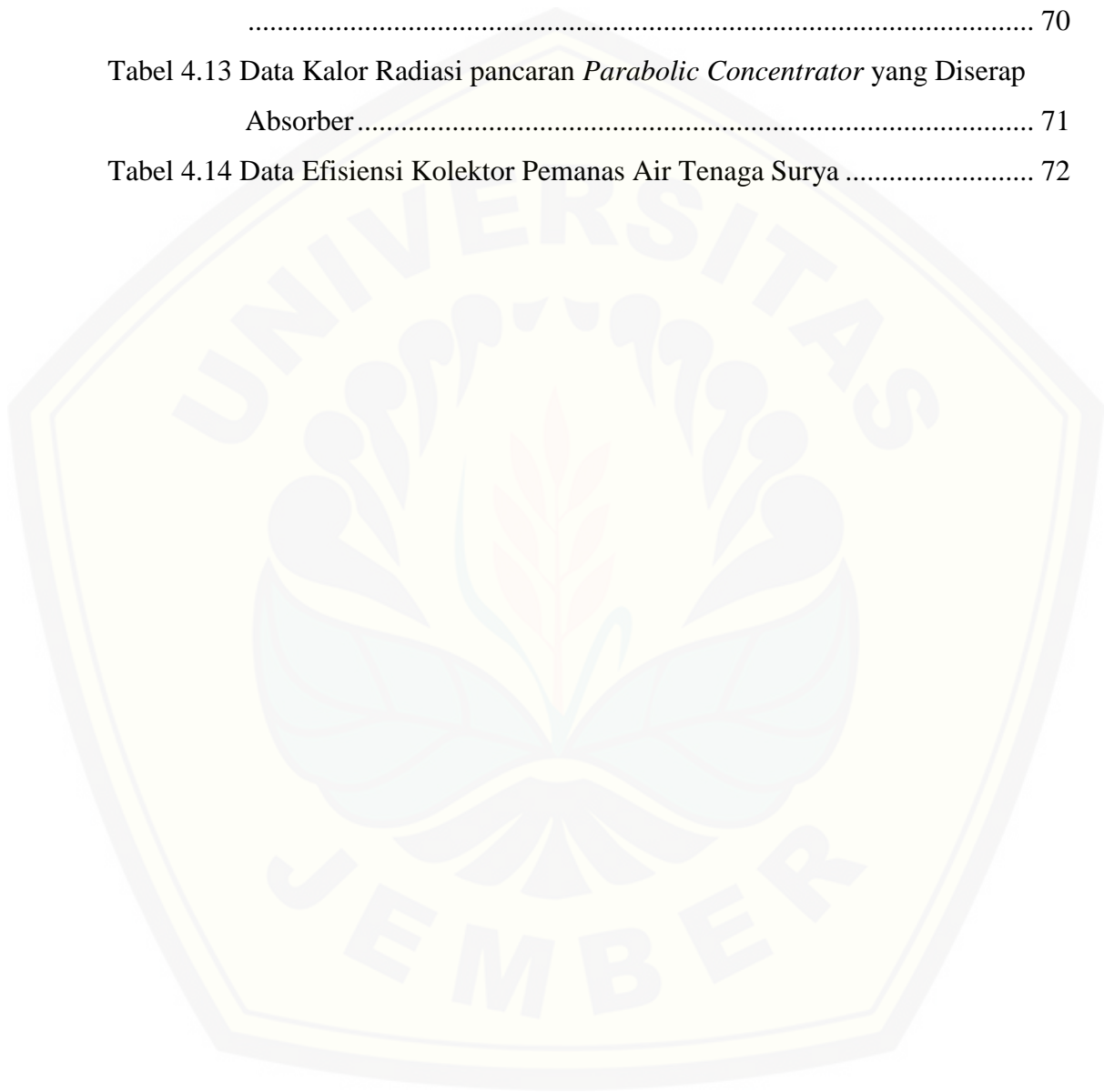
Gambar 2.1	Tingkat Radiasi Matahari Sepanjang Tahun (NCEP/NCAR <i>Reanalysis project 1957-1997 Cliatologies</i> ).....	9
Gambar 2.2	Penyerapan Radiasi oleh Penyerap pelat (Unggul, 2015).....	14
Gambar 2.3	Kolektor Surya Terkonsentrasi Tampak Depan (Aryadinata, 2017)	15
Gambar 2.4	Kolektor Surya Terkonsentrasi Tampak Samping (Aryadinata, 2017) .....	16
Gambar 2.5	<i>Evacuated Solar Colector (National Renewable Energy Laboratory Training Workshop, 2006)</i> .....	17
Gambar 2.6	Perpindahan Panas Konduksi pada sebuah Dinding (Cengel, 2011)	19
Gambar 2.7	Perpindahan Panas Konduksi melalui sebuah Dinding yang memiliki Ketebalan (Cengel, 2011) .....	20
Gambar 2.8	Analogi antara Konsep Resistansi Termal dan Resistansi Elektrikal (Cengel, 2011) .....	21
Gambar 2.9	Skema Dari Hambatan ( <i>Resistance</i> ) Konveksi pada sebuah Permukaan (Cengel dkk, 2011) .....	23
Gambar 2.10	Skema dari Hambatan ( <i>resistance</i> ) Konveksi dan Radiasi pada sebuah Permukaan (Cengel dkk, 2011) .....	25
Gambar 2.11	Sudut - sudut yang menentukan Posisi Matahari (Duffie, 2013)....	26
Gambar 2.12	<i>The Three Processes in General TES System</i> (Lavinia dkk, 2012).	29
Gambar 2.13	Diagram Temperatur-waktu Pemanasan suatu Bahan (Lavinia dkk, 2012) .....	29
Gambar 2.14	Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Perlakuan (a) (Sumber: Dinker dkk, 2017) .....	41
Gambar 2.15	Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Perlakuan (b) (Sumber: Dinker dkk, 2017) .....	42
Gambar 2.16	<i>Evacuated Tube Solar Collector</i> dengan Konsentrator.....	43

Gambar 2.17 Desain Kolektor Tabung Hampa dengan Konsentrator .....	44
Gambar 2.18 Kolektor yang Disusun Secara Seri (Mishra, 2015) .....	45
Gambar 2.19 Penambahan Konsentrator Parabolik pada Kolektor (Mishra, 2017) .....	45
Gambar 2.20 Pemanas Air Bertenaga Surya Sistem (a) (Abkoresh, 2017).....	46
Gambar 2.21 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem B(a), dan sistem C (b)(Abkoresh, 2017) .....	47
Gambar 2.22 Distribusi Temperatur Inkubator dengan menggunakan <i>Paraffin</i> (Sekar,2016).....	47
Gambar 2.23 Distribusi Temperatur Inkubator dengan menggunakan <i>Beeswax</i> (Sekar,2016).....	48
Gambar 3.1 Desain Bagian Dalam Kolektor Tabung (a), Kolektor Tabung dengan Covernya (b) .....	52
Gambar 3.2 Rencana Desain Alat Pemanas Air Energi Surya .....	53
Gambar 4.1 Grafik Intensitas Radiasi Matahari pada Ketiga Laju Aliran Massa	73
Gambar 4.2 Grafik Temperatur Outlet Air .....	74
Gambar 4.3 Hasil Uji T-Test pada $T_{out1}$ dan $T_{out2}$ .....	74
Gambar 4.4 Grafik Kalor yang Diserap Air .....	75
Gambar 4.5 Grafik Temperatur PCM .....	76
Gambar 4.6 Grafik Kalor yang diserap PCM .....	78
Gambar 4.7 Hasil Uji T-Test pada $Q_{PCM A}$ dan $Q_{PCM B}$ .....	79
Gambar 4.8 Efisiensi Pemanas Air Tenaga Surya.....	80
Gambar 4.9 Hasil Pengujian T-Test pada Efisiensi Kolektor A dan Kolektor B	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Jenis <i>Paraffin</i> (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	34
Tabel 2.2	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Jenis <i>non-paraffin</i> (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	35
Tabel 2.3	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Asam Lemak (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	36
Tabel 2.4	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Jenis Hidrat Garam (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	37
Tabel 2.5	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Jenis <i>Metallics</i> (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	38
Tabel 2.6	Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Kombinasi Organik- Anorganik (Sumber: Sharma dkk., 2009) .....	38
Tabel 2.7	Aplikasi PCMs (Sumber: Zalba dkk., 2003) .....	39
Tabel 3.1	Pengambilan Data pada Kolektor A.....	55
Tabel 3.2	Pengambilan Data Pada Kolektor B.....	56
Tabel 4.1	Pengambilan Data Intensitas Matahari.....	60
Tabel 4.2	Pengambilan Data pada Temperatur <i>Outlet</i> dengan Laju Aliran Massa 0,008 kg/s .....	61
Tabel 4.3	Pengambilan Data pada Temperatur <i>Outlet</i> dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s .....	62
Tabel 4.4	Pengambilan Data pada Temperatur <i>Outlet</i> dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s .....	63
Tabel 4.5	Data Temperatur PCM .....	64
Tabel 4.6	Data Kalor yang diserap Air.....	65
Tabel 4.7	Data Kalor yang diserap PCM .....	66
Tabel 4.8	Data Kalor Radiasi Langsung Matahari .....	66

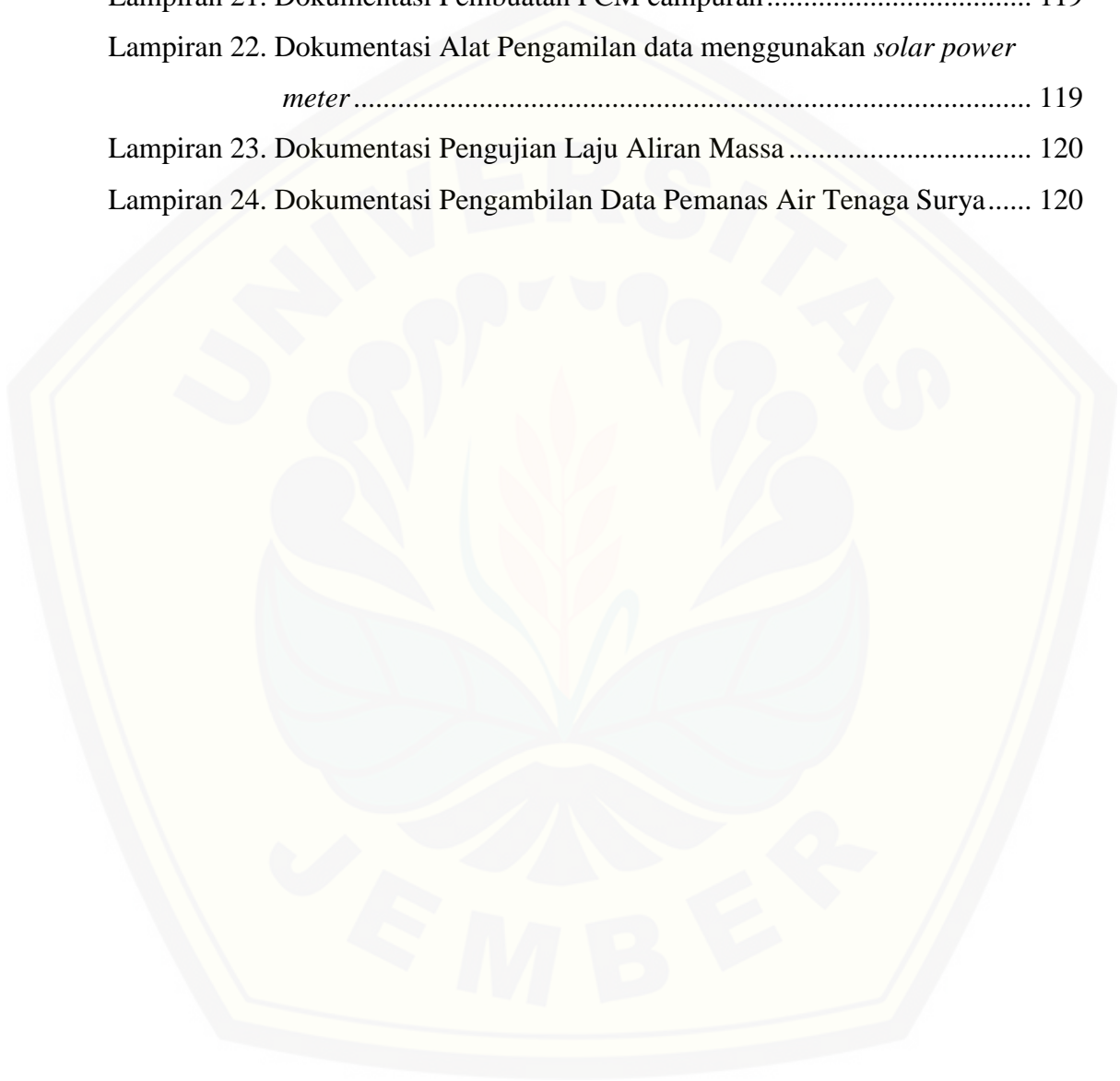
Tabel 4.9	Data Kalor Radiasi Pantulan <i>Concentrator Parabolic</i> .....	67
Tabel 4.10	Data Kalor Radiasi <i>Parabolic Concentrator</i> .....	68
Tabel 4.11	Data Kalor Radiasi Langsung yang Diserap Absorber .....	69
Tabel 4.12	Data Kalor Pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang Diserap Absorber .....	70
Tabel 4.13	Data Kalor Radiasi pancaran <i>Parabolic Concentrator</i> yang Diserap Absorber .....	71
Tabel 4.14	Data Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya .....	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 70% dan <i>Beewax</i> 30% dengan Laju Aliran Massa 0,008 kg/s .....	94
Lampiran 2.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 30% dan <i>Beewax</i> 70% dengan Laju Aliran Massa 0,008 kg/s .....	95
Lampiran 3.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 70% dan <i>Beewax</i> 30% dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s .....	96
Lampiran 4.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 30% dan <i>Beewax</i> 70% dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s .....	97
Lampiran 5.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 70% dan <i>Beewax</i> 30% dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s .....	98
Lampiran 6.	Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran <i>Paraffin</i> 30% dan <i>Beewax</i> 70% dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s .....	99
Lampiran 7.	Perhitungan Laju Aliran Massa Fluida.....	100
Lampiran 8.	Perhitungan Kalor yang Diserap Air .....	101
Lampiran 9.	Kalor yang Diserap PCM .....	103
Lampiran 10.	Perhitungan Kalor Radiasi Langsung Matahari .....	107
Lampiran 11.	Kalor Radiasi Pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> .....	108
Lampiran 12.	Kalor Radiasi Pancaran <i>Parabolic Concentrator</i> .....	109
Lampiran 13.	Kalor Radiasi Langsung yang Diserap Absorber .....	110
Lampiran 14.	Kalor Radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang Diserap Absorber .....	111
Lampiran 15.	Kalor Radiasi emisi <i>Parabolic Concentrator</i> yang Diserap Absorber .....	113
Lampiran 16.	Efisiensi Pemanas Air Tenaga Surya.....	114
Lampiran 17.	Dokumentasi Bahan Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya.....	116

Lampiran 18. Dokumentasi Alat Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya .....	117
Lampiran 19. Dokumentasi Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya ..	118
Lampiran 20. Dokumentasi pengukuran massa paraffin dan beewax.....	118
Lampiran 21. Dokumentasi Pembuatan PCM campuran .....	119
Lampiran 22. Dokumentasi Alat Pengambilan data menggunakan <i>solar power meter</i> .....	119
Lampiran 23. Dokumentasi Pengujian Laju Aliran Massa .....	120
Lampiran 24. Dokumentasi Pengambilan Data Pemanas Air Tenaga Surya.....	120



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral adalah sumberdaya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Bahan bakar fosil masih menjadi tujuan utama kebutuhan energi dunia. Bahan bakar fosil biasanya digunakan pada sumber pembangkit listrik, motor bakar, dan berbagai kebutuhan rumah tangga. Efek dari bahan bakar fosil ini menimbulkan banyak masalah, masalah ini disebabkan oleh gas buang bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan. Bahan bakar fosil menyebabkan efek rumah kaca, hujan asam dan perubahan iklim drastis yang menyebabkan kematian fauna dan flora yang tidak mampu beradaptasi.

Para ilmuwan mengembangkan sumber energi lain yang memiliki jumlah berlimpah dan terbarukan, untuk mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan dari sumber energi terbarukan juga memiliki efek positif terhadap alam, karena gas buang dari sumber energi terbarukan dapat diterima oleh alam atau dengan kata lain tidak menimbulkan sampah alam. Sumber energi terbarukan tersebut antara lain adalah energi surya, biodiesel sebagai pengganti bahan bakar solar, air dan angin yang dimanfaatkan aliran fluidanya sebagai penggerak turbin listrik.

Sumber energi terbarukan memiliki kapasitas untuk memenuhi krisis energi dunia. Diantara berbagai energi terbarukan, energi surya menyumbang sebagian besar kebutuhan energi dunia. Energi surya yang berasal dari matahari dalam bentuk radiasi matahari bisa menjadi sumber energi terbarukan. Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air apabila terdapat peralatan (*solar collector*) yang dikondisikan agar panas energi matahari dapat terserap dan tersimpan. Air panas dan uap air dialirkan pada pipa air atau tangki juga bisa dimanfaatkan untuk melindungi manusia dari pembekuan di musim dingin, dan juga dimanfaatkan untuk memproduksi uap yang digunakan dalam aplikasi industri atau memanfaatkan air panas hasil pemindahan kalor untuk memasak dan mencuci.



Sistem pemanas air matahari tradisional menyimpan energi dalam bentuk panas berdasarkan kenaikan suhu air (Jamar dkk., 2016). Sistem pemanas air matahari untuk yang digunakan dalam skala perumahan dan industri memiliki jumlah yang meningkat secara dramatis selama satu dekade terakhir dikarenakan kekurangan sumber energi dan kenaikan emisi rumah kaca (Sharma dkk., 2009). Oleh karena itu, beberapa studi yang disajikan peneliti secara eksperimental dan ekonomis terhadap kinerja sistem pemanas air matahari (Abokersh dkk., 2017). Pertimbangan pada persyaratan pemanasan dan kondisi lingkungan, kolektor surya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yakni kolektor pelat datar (*flat plate solar collector*), kolektor surya tabung hampa (*evacuated tube solar collector*) dan kolektor surya terkonsentrasi (*concentrated solar collector*) (Bhowmik dkk., 2017).

Mishra dkk. (2017) mengungkapkan bahwa *evacuated tube collectors* (kolektor surya tabung hampa) dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis kolektor surya sebelumnya. Keistimewaan dari ETC terletak pada efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak diantara absorber dan covernya dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi dari permukaan luar absorber menuju lingkungan.

ETC cukup mudah didapat di pasaran dan digunakan untuk memasok air panas. China mendominasi salah satu posisi tertinggi dalam industri pemanas air tenaga surya (SWH) di dunia dalam beberapa tahun terakhir karena penggunaan teknologi dari ETC, bukan dari kolektor pelat datar (Tiwari, 2012, dan Mishra, 2013). Kolektor tabung hampa mampu meningkatkan temperatur air hingga mencapai temperatur 100 °C, dan memiliki rasio penurunan temperatur terhadap waktu yang rendah. Perusahaan SWH (*solar water heater*) mampu menghasilkan keuntungan yang cukup bahkan tanpa tambahan finansial yang intensif dari pemerintah. Penelitian mengenai keuntungan ekonomi dari SWH dengan tipe ETC menghasilkan inovasi baru di industri SWH, menyiratkan bahwa perusahaan China terus mengembangkan cara untuk meminimalkan biaya SWH dengan kolektor tabung hampa dan untuk meningkatkan kualitas mereka daripada mengikuti

perkembangan di negara-negara industri di mana teknologi SWH piring datar (*flat plate solar collector*) yang mendominasi (Qiu dkk., 2015).

Mishra dkk. (2015) melakukan sebuah penelitian prestasi *evacuated tubular collector* 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 *glass tube collector*. 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 temperature *inlet* dan *outlet* semakin besar.

Pemanfaatan energi surya untuk pemanas air tenaga yang menggunakan *evacuated tube solar collector* (ETC) dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya menggunakan seperangkat panel kolektor silinder berpenutup kaca yang didalamnya dilengkapi dengan absorber silinder dan pipa air, serta *inner tube* dari *collector* dikondisikan tetap dalam keadaan tertutup agar menghindari konveksi dengan udara lingkungan yang merugikan. Radiasi surya yang ditangkap pada permukaan kaca akan diteruskan dan kemudian diserap oleh absorber. Panas dari absorber dimanfaatkan untuk memanaskan air yang mengalir dalam pipa. Air dengan temperatur tinggi kemudian ditampung dalam tangki penyimpanan untuk kemudian dimanfaatkan. Untuk menjaga temperatur air tetap konstan pada malam hari atau saat cuaca mendung, tangki penyimpanan air dilengkapi dengan *heater* listrik. Penggunaan *heater* listrik akan menyebabkan penambahan biaya operasional pemanas air surya.

ETC (*evacuated tube solar collector*) memiliki beberapa kelemahan seperti pemanfaatan area yang bervariasi dan memiliki faktor efisiensi optik rendah (Mishra dkk., 2017). Untuk meningkatkan kinerja termal kolektor tubir evakuasi berbentuk U (Mishra dkk., 2015), area penerima yang efektif harus ditingkatkan, hal ini dapat dilakukan dengan mengintegrasikan ETC dengan konsentrator parabola majemuk dan menunjukkan diagram skematik kolektor tubular yang

dievakuasi (ETC) yang terintegrasi dengan *compound parabolic concentrator* (CPC) dengan  $A_a > A_r$ , di mana  $A_a$  adalah daerah aperture dan  $A_r$  adalah area penerima. ETC tetap berada di sepanjang garis fokus konsentrator parabola majemuk untuk menerima jumlah maksimum radiasi matahari setelah refleksi dari reflektor. Jumlah kombinasi ETC-CPC semacam itu dihubungkan secara seri untuk aplikasi suhu tinggi.

Keuntungan atau hasil yang diperoleh dari ETC-CPC, energi panas tahunan adalah 1461,63 kWh dan 1859,66 kWh dan kenaikan exergy tahunan masing-masing 137,5 kWh dan 165,9 kWh untuk sistem ETC dan ETC-CPC untuk enam jumlah kolektor yang terhubung secara seri. *Energy pay back time* (EPBT) meningkat sebesar 6,2% dan 11,6% dan *energy production factor* (EPF) turun masing-masing sebesar 5,7% dan 25% pada basis energi dan eksergi selama 20 tahun masa sistem ketika CPC diintegrasikan dengan ETC (Mishra dkk., 2017).

Penelitian yang telah dilakukan untuk memaksimalkan penyimpanan panas pada tanki penyimpanan air panas adalah dengan memanfaatkan material berubah fasa (PCM) sebagai material penyimpan panas. PCM (*phase change material*) dibuat dalam bentuk modul modul kecil kemudian diletakkan dalam tangki penyimpanan air panas. Penggunaan sistem penyimpanan panas laten menggunakan PCM merupakan cara efektif untuk menyimpan energi panas dan memiliki keunggulan kepadatan penyimpanan energi tinggi dan sifat isothermal proses penyimpanan. PCM telah banyak digunakan dalam sistem penyimpanan panas panas laten untuk pompa panas, teknik surya, dan aplikasi kontrol termal pesawat ruang angkasa. Penggunaan PCM untuk aplikasi pemanasan dan pendinginan untuk bangunan telah diteliti dalam satu dekade terakhir. Ada sejumlah besar PCM yang meleleh dan memadat pada berbagai suhu, membuat PCM menarik di sejumlah aplikasi (Sharma dkk, 2009). Pada siang hari panas yang diterima air dari radiasi surya diserap oleh PCM yang mengakibatkan PCM berubah fasa dari padat menjadi cair. Pada saat radiasi surya menurun yang mengakibatkan temperatur air menurun, PCM akan melepaskan kembali panas ke air yang mengakibatkan temperatur air dapat dijaga konstan.

Wiwik (2011) mengungkapkan pada bukunya tentang macam-macam bahan perubah fasa dan aplikasinya, salah satunya adalah penggunaan *beewax* sebagai PCM *heat storage*. *Beewax* merupakan material berubah fasa yang berasal dari sarang lebah. Umumnya tersusun atas dari ester asam lemak dan berbagai senyawa alkohol rantai panjang. Penggunaan *Beewax* (lilin lebah) dirasa sangat prospek untuk *heat storage*. Dikarenakan *beewax* memiliki titik lebur yang rendah yakni sekitar 62-64 °C tetapi memiliki kalor laten yang cukup tinggi yakni sekitar 177 kJ/kg.

Dari penjelasan di atas, penulis ingin melakukan pengembangan penelitian terhadap kolektor surya yang telah dilakukan dengan menambahkan bidang penangkapan energi termal surya serta kolektor diintegrasikan dengan CPC, sehingga energi panas yang ditangkap *absorber* dapat lebih dimanfaatkan. Penulis juga akan melakukan perbandingan performa pada kolektor dengan variasi PCM paraffin dengan penambahan *beewax* (lilin lebah), serta melakukan perbandingan penyerapan energi termal surya dengan memvariasikan laju aliran massa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap temperatur *outlet* pada pemanas air energi surya?
- b. Bagaimana pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap prestasi pada pemanas air energi surya?
- c. Bagaimana pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap kalor yang tersimpan pada PCM?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap temperatur *outlet* pada pemanas air energi surya.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap prestasi pada pemanas air energi surya.
- c. Mengetahui pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* 30%, dan 70% dari volume sebagai material berubah fasa terhadap kalor yang tersimpan pada PCM.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Memberikan pengetahuan mengenai pemanas air tenaga surya dengan menggunakan *evacuated tube solar collector*.
- b. Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh penambahan *paraffin* dengan *beewax* sebagai material berubah fasa terhadap kinerja pemanas air tenaga surya.
- c. Memberikan motivasi kepada Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember untuk mengembangkan penelitian mengenai energi surya dan PCM.

### 1.5 Batasan Masalah

Mengetahui kompleksnya faktor – faktor yang dapat mempengaruhi data yang diambil dan proses Analisa, maka ditentukan batasan – batasan masalah sebagai berikut:

- a. Volume fluida di *reservoir* dalam setiap percobaan konstan.
- b. Diameter pipa fluida kerja konstan.
- c. Kondisi sistem dianggap tidak memiliki kebocoran.

- d. Volume dan komposisi PCM pada setiap unit tabung dalam satu perangkat kolektor dianggap sama.
- e. Kalor yang diserap air hanya dari radiasi matahari, pantulan radiasi matahari oleh CPC, emisi radiasi dari CPC dan PCM dengan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur *outlet* air.
- f. Kalor yang diterima CPC hanya berasal dari radiasi matahari.
- g. Sudut setiap kolektor dianggap sama.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Non-Konvensional

Pada era teknologi di jaman sekarang, banyak sekali penemuan-penemuan tentang penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai upaya mengurangi pemanfaatan energi yang menggunakan fosil. Salah satunya adalah memanfaatkan energi surya. Energi surya sebagai energi alternatif yang dapat dirasa sesuai dengan kondisi saat ini karena sifatnya yang *renewable* dan tersedia sangat melimpah di daerah tropis khususnya negara Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa. Radiasi matahari yang sampai ke bumi, dapat diserap dan dikumpulkan, kemudian diubah menjadi energi panas yang dapat dengan mudah dikonduksi atau dikonveksikan kepada area tertentu melalui suatu alat yang dinamakan kolektor surya, dan dapat disimpan dalam waktu tertentu untuk dimanfaatkan kembali (Beckman, 1991).

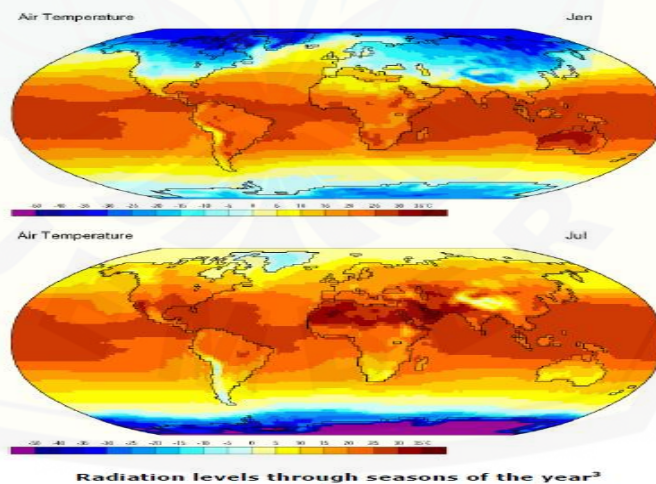
### 2.2 Radiasi Matahari

Radiasi Matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Spektrum radiasi matahari sendiri terdiri dari dua yaitu, sinar bergelombang pendek dan sinar bergelombang panjang. Sinar yang termasuk gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultra violet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar infra merah.

Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung 4 (empat) faktor. Jarak matahari, Intensitas radiasi matahari, yaitu besar kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfir yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus, Panjang hari (*sun duration*), yaitu jarak dan lamanya antara matahari terbit

dan matahari terbenam, Pengaruh atmosfer. Sinar yang melalui atmosfer sebagian akan diadsorpsi oleh gas-gas, debu dan uap air, dipantulkan kembali, dipancarkan dan sisanya diteruskan ke permukaan bumi.

Pentingnya matahari bagi kehidupan di bumi telah diungkapkan oleh Mendoza (2005) dalam jurnalnya, bahwa Matahari mengeluarkan partikel-partikel, yaitu produk dari aktivitasnya dan planet-planet serta berbagai benda langit adalah mediumnya. Produk tersebut adalah radiasi elektromagnetik, partikel energik, dan *transient enjecta* yang membeku pada medan magnet. Sisa pembuangan yang terperangkap di dalam heliosfer berdampak terhadap aktivitas matahari sesuai dengan karakteristiknya. Klasifikasi sisa pembuangan yang berdampak langsung pada aktivitas matahari adalah sisa pembuangan yang memiliki medan magnet intrinsik, medan magnet ionosfer dan atmosfer netral. Secara khusus Bumi merespon variabilitas matahari melalui aktivitas geomagnetik, variasi atmosfer yang signifikan, dan kemungkinan perubahan cuaca, iklim dan biota. Ini berarti bahwa radiasi matahari adalah sumber energi utama yang menggerakkan iklim Bumi dan menopang kehidupan. Variabilitas ini tentu saja dapat mempengaruhi planet kita.



Gambar 2.1 Tingkat Radiasi Matahari Sepanjang Tahun (NCEP/NCAR *Reanalysis project 1957-1997 Cliatologies*)

Dengan kata lain radiasi matahari merupakan unsur iklim/cuaca utama yang akan mempengaruhi keadaan unsur iklim/cuaca lainnya. Perbedaan penerimaan



radiasi surya antar tempat di permukaan bumi akan menciptakan pola angin yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kondisi curah hujan, suhu udara, kelembaban nisbi udara, dan lain-lain.

Besar kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi dapat berpengaruh kepada intensitas radiasi matahari. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

### 2.2.1 *Solar Irradiance*

*Solar irradiance* adalah kekuatan per satuan luas yang diterima dari Matahari dalam bentuk radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang alat ukur. *solar irradiance* dapat diukur di luar angkasa atau di permukaan bumi dengan catatan radiasi diukur tegak lurus terhadap datangnya sinar matahari yang telah terbias oleh atmosfer. *Total solar irradiance* (TSI) adalah ukuran tenaga surya, yaitu integral dari jumlah panjang gelombang per satuan luas di atmosfer bagian atas bumi (Stickler, 2016). Konstanta surya adalah ukuran konvensional dari TSI pada jarak satu Unit Astronomi (*The Astronomical Unit*). *Irradiance* adalah fungsi jarak dari Matahari, siklus matahari, dan perubahan siklus silang (Boxwell, 2012). *Irradiance on Earth* juga diukur tegak lurus terhadap sinar matahari yang masuk. Insolation adalah kekuatan yang diterima di Bumi per satuan luas pada permukaan horizontal. Itu tergantung pada tinggi Matahari di atas cakrawala dan kondisi atmosfer (Stickler, 2016). TSI di orbit Bumi dapat dihitung dengan mengetahui jari-jari Matahari, suhu fotosfer dan nilai AU (*The Astronomical Unit*), hasilnya kira-kira 1367 W/m<sup>2</sup>. Observasi satelit menunjukkan nilai rata-rata  $1367 \pm 4$  W/m<sup>2</sup> (Mendoza, 2005).

Pengukuran berbasis ruang hampa (*space-based measurements*) menunjukkan bahwa radiasi matahari total (TSI) berkembang pada berbagai skala waktu, dari beberapa menit sampai pada satu siklus matahari. Berbagai jenis iklim menunjukkan bahwa variasi radiasi matahari total (TSI) dapat menjelaskan

sebagian besar variasi suhu atmosfer bumi di era pra-industri. Selama abad ke 20 pengaruh relatif terhadap perubahan suhu telah turun secara signifikan. Ini berarti bahwa sumber aktivitas matahari lainnya dan juga penyebab internal dan buatan manusia berkontribusi terhadap variabilitas suhu Bumi, terutama yang pertama di abad ke-20 (Mendoza, 2005).

### 2.2.2 Pemanfaatan Radiasi Matahari

Dibidang pertanian penggunaan sinar surya sudah mulai diterapkan sejak lama walau pun masih bersifat tradisional, seperti penjemuran beberapa hasil pertanian oleh para petani, mereka menggunakan sinar matahari sebagai media pengeringan hasil pertanian mereka, baru dalam beberapa daswarsa terakhir, diciptakan peralatan yang dapat memanfaatkan sinar surya sebagai media pengeringan contoh seperti Alat pengering cabai yang memanfaatkan panas matahari, pemanfaatan tenaga matahari sebagai media pengeringan sangat lah efisien mengingat dari segi biaya dan yang relative murah dan tidak memerlukan banyak tenaga kerja (Kadir, Abdul.1995).

Sumber sinar merupakan bahan yang utama untuk proses menghasilkan energi kemudian tergantung pada teknik pemanfaatannya seperti penggunaan *absorber* sebagai penyerap yang sangat tepat karena mengingat bahwa absorber mempunyai daya simpan panas yang tinggi. Setelah teknik pemanfaatannya, kemudian energi panas surya tadi baru dapat dijadikan bentuk energi yang sesuai dengan kebutuhan.

Listrik merupakan tujuan utama walaupun dibidang pertanian tenaga surya hanya digunakan untuk sistem pengeringan, tetapi dibidang teknologi para ahli terus mengembangkan prinsip kolektor surya untuk menghasilkan tenaga yang sangat dibutuhkan oleh manusia yaitu tenaga listrik, jika tenaga surya bisa diolah secara efisien baik dari teknik pemanfaatannya maupun setelah menjadi energi, maka energi matahari dapat menghasilkan listrik dalam jumlah yang besar yang bisa bermanfaat besar bagi kehidupan manusia.

Pemanfaatan radiasi matahari dalam kehidupan sangat luas. Intensitas matahari ditentukan oleh spektral matahari itu sendiri dalam mentransfernya kepada responden (bumi). Bila spektral radiasi matahari buruk, intensitas radiasi matahari

berkurang dipermukaan bumi, mutu kehidupan di bumi dipastikan turun. Umumnya dalam teknologi memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi panas, sedangkan cahaya dari radiasi matahari tampak dimanfaatkan untuk penerangan. Pemanfaatan radiasi matahari dan cahaya matahari tampak baik berupa radiasi langsung normal dan horizontal, radiasi baur, pantul maupun global, yang paling sering kita jumpai adalah pada desain sistem penerangan maupun kelembapan suatu bangunan, pengeringan bahan makanan maupun sandang, dan sumber pembangkit listrik, atau kolektor surya sebagai pemanas air dan fluida lainnya.

### 2.3 Kolektor Surya

Kolektor panas matahari (*solar thermal collector*) merupakan metode memanfaatkan energi surya dengan menyerap radiasi matahari. Metode ini memiliki banyak aplikasi pada penggunaan skala rumahan maupun industri. Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai pemanas air apabila terdapat peralatan (*solar collector*) yang dikondisikan agar panas energi matahari dapat terserap dan tersimpan.

Kolektor surya adalah komponen utama dari metode dan sebuah sistem pemanas matahari. Kolektor surya merupakan alat untuk menangkap radiasi matahari, mengubah radiasi matahari menjadi panas (*solar thermal energy*), dan kemudian mentransfer panas ini ke cairan atau fluida atau berbagai jenis fluida. Kolektor adalah alat untuk menangkap radiasi matahari. Radiasi matahari adalah energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik dari inframerah (panjang) hingga panjang gelombang ultraviolet (pendek). Kuantitas energi matahari yang menabrak permukaan bumi (konstanta matahari) rata-rata sekitar 1.000 watt per meter persegi di bawah langit cerah, tergantung pada kondisi cuaca, lokasi dan orientasi (Norton, 2013).

Istilah kolektor surya biasanya mengacu pada panel air panas matahari, palung parabola surya dan menara surya; atau instalasi dasar seperti pemanas udara matahari. Pembangkit listrik tenaga surya konsentrat biasanya menggunakan kolektor yang lebih kompleks untuk menghasilkan listrik dengan memanaskan fluida untuk menggerakkan turbin yang terhubung ke generator listrik (Norton, 2013). Kolektor sederhana biasanya digunakan di bangunan perumahan dan

komersial untuk pemanasan ruang. Kolektor panas matahari pertama yang dirancang untuk atap bangunan dipatenkan oleh Goettl pada tahun 1978 yang berjudul Kolektor Panas Solar dan Adiator Untuk Atap Bangunan. Paten tersebut memperkenalkan teknologi baru untuk memperkecil penggunaan pembangkit listrik komersil sehingga dapat meringankan biaya tagihan perbulan. Reflektor surya digunakan disini dengan kolektor surya untuk meningkatkan reflektifitas kolektor. Dengan demikian, reflektor memusatkan radiasi langsung dan menyebar dari matahari ke arah kolektor. Untuk memaksimalkan intensitas radiasi, reflektor dimanipulasi sehingga dapat merubah sudutnya waktu di siang hari. Radiasi yang berasal dari energi matahari diubah menjadi panas, dan kemudian panas ini dipindahkan ke cairan kolektor. Prototipe sistem pemanas air matahari yang dibuat memperoleh peningkatan efisiensi kolektor sekitar 10% dengan menggunakan reflektor. Dengan demikian, sistem pemanas air surya saat ini memiliki kinerja termal terbaik dibandingkan dengan sistem yang ada.

Pada dasarnya kolektor surya dapat dikalsifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan dimensi dan geometri dari *receiver* yang dimilikinya, yakni kolektor plat datar (*flat plate solar collector*), kolektor surya tabung hampa (*evacuated tube solar collector*) dan kolektor surya terkonsentrasi (*consetrated solar collector*) (Bhowmik dkk., 2017). Ketiga jenis kolektor surya tersebut memiliki prestasi yang berbeda. Pemilihan jenis kolektor suya dapat ditentukan oleh tujuannya.

### 2.3.1 Kolektor Surya Plat Datar

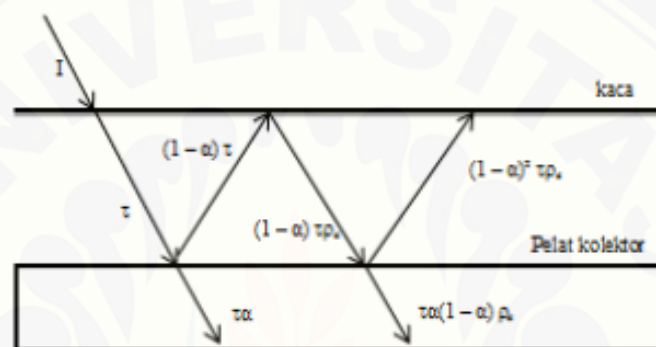
Kolektor surya pelat datar berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari. Radiasi yang diterima permukaan penutup transparan kolektor, sebagian besar diteruskan dan kemudian diterima pelat kolektor yang bekerja sebagai pengumpul energi. Pelat kolektor menjadi sumber radiasi memancarkan energi radiasi kembali ke permukaan dalam penutup transparan kolektor, tetapi radiasinya tidak mampu menembus penutup dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca. Akibat kasus ini menyebabkan temperatur di dalam ruang menjadi panas dibandingkan dengan temperatur lingkungan. Kolektor surya memiliki bagian-bagian utama, diantaranya:

- a. Pelat penyerap

b. Penutup transparan

c. Isolator

Berkas radiasi matahari yang menimpa kolektor, pertama akan menembus penutup transparan (kaca), kemudian menimpa pelat penyerap. Radiasi ini sebagian diserap oleh pelat penyerap, sebagian yang lain dipantulkan kembali. Pantulan dari pelat penyerap tersebut dipantulkan kembali oleh penutup kaca. Sehingga terjadi proses pemantulan yang terulang (Unggul, 2015). Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Penyerapan Radiasi oleh Penyerap Pelat (Unggul, 2015)

Bila sejumlah energi radiasi menimpa kolektor, maka energi sebesar ( $\tau\alpha$ ) akan diserap oleh pelat penyerap dan sebesar  $(1 - \alpha) \tau$  dipantulkan kembali ke penutup. Pantu dari pelat penyerap dianggap sebagai radiasi hambur (radiasi difusi), sehingga  $(1 - \alpha) \tau$  yang mengenai penutup merupakan radiasi hambur, dan  $(1 - \alpha) \tau\rho_g$  kembali ke pelat penyerap. Proses pemantulan tersebut terus berulang.

Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri. (Duffie, 1991).

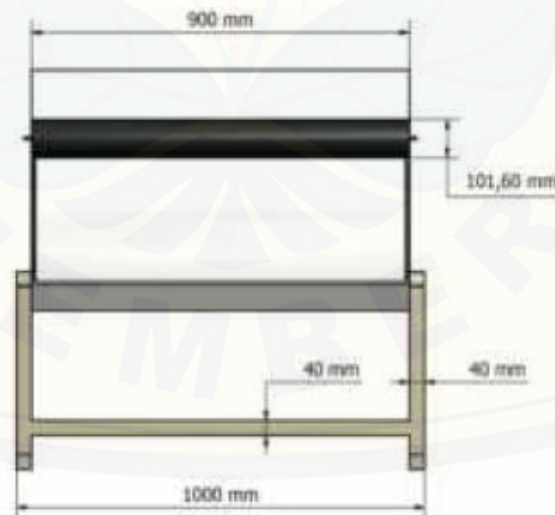
Menurut John A. Duffie, dkk (1991), panas yang diserap plat kolektor dipengaruhi oleh kaca penutup. Jenis kaca penutup yang digunakan menentukan

banyaknya energi matahari yang diserap kaca, yang ditransmisi ke udara di antara kaca-plat dan yang direfleksi kembali ke atmosfer.

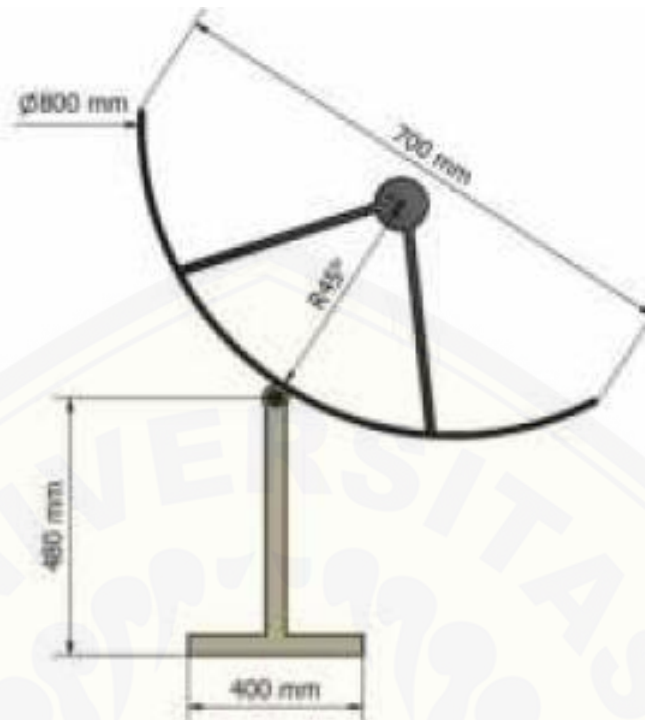
### 2.3.2 Kolektor Surya Terkonsentrasi

Berdasarkan geometrinya salah satu jenis kolektor surya adalah kolektor tubular. Kolektor tubular adalah sebuah kolektor surya konsentris, dimana antara kaca penutup (*cover*) dan pipa penyerap (*absorber*) membentuk *anulus*. Pipa penyerap berada disebelah dalam sedangkan kaca penutup dengan diameter yang lebih besar berada di sebelah luar. Saat ini kaca penutup pada kolektor tubular hanya difungsikan untuk menghalangi panas terbuang ke lingkungan. Selain itu kolektor tubular umumnya menggunakan tipe aliran fluida kerja satu arah.

Jenis ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperature antara  $100^{\circ} - 400^{\circ}\text{C}$ . Kolektor surya jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh *absorber*. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmisivitas tinggi. Berdasarkan komponen absorbernya jenis ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *Line Focus* dan *Point Focus*.



Gambar 2.3 Kolektor Surya Terkonsentrasi Tampak Depan (Aryadinata, 2017)



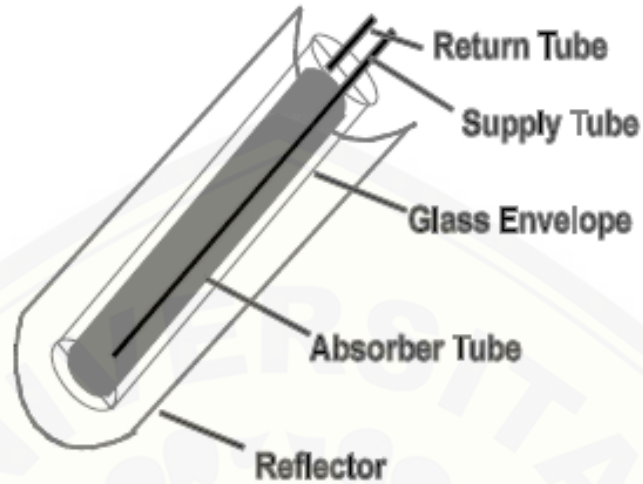
Gambar 2.4 Kolektor Surya Terkonsentrasi Tampak Samping (Aryadinata, 2017)

Agar cahaya matahari selalu dapat difokuskan terhadap tabung absorber, konzentrator harus dirotasi seperti yang terlihat pada gambar 2.3 dan 2.4.

### 2.3.3 *Evacuated Tube Solar Collector*

Jenis ini dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis kolektor surya sebelumnya. Keistimewaannya terletak pada efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak diantara absorber dan covernya dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi dari permukaan luar absorber menuju lingkungan.

## Evacuated Tubes



Gambar 2.5 Evacuated Solar Colector (National Renewable Energy Laboratory Training Workshop, 2006)

### 2.4 Asas Black

Bunyi Asas Black adalah Pada pencampuran dua zat, banyaknya kalor yang dilepas zat yang suhunya lebih tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diterima zat yang suhunya lebih rendah. Asas Black adalah suatu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh Joseph Black. Asas ini menjabarkan: Jika dua buah benda yang berbeda yang suhunya dicampurkan, benda yang panas memberi kalor pada benda yang dingin sehingga suhu akhirnya sama. Jumlah kalor yang diserap benda dingin sama dengan jumlah kalor yang dilepas benda panas. Benda yang didinginkan melepas kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap bila dipanaskan. Secara umum rumus Asas Black adalah

$$Q_{lepas} = Q_{terima} \quad (2.1)$$

dengan:

$Q_{lepas}$  = jumlah kalor yang dilepas oleh zat

$Q_{terima}$  = jumlah kalor yang diterima oleh zat



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

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

dengan :

$Q$  = Banyaknya kalor sensibel (Joule)

$m$  = Massa benda (kg)

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

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur (°C).

Dan banyaknya energi yang tersimpan dalam bentuk kalor laten dapat diukur dengan fungsi

$$Q = m L \quad (2.3)$$

dengan:

$Q$  = Banyaknya kalor laten (Joule)

$m$  = Massa benda (kg)

$L$  = Kalor laten pelelehan (J/kg)

## 2.5 Perpindahan Panas pada Kolektor Surya

Perpindahan panas adalah salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik. Perpindahan panas diklasifikasikan menjadi konduktivitas termal, konveksi termal, radiasi termal, dan perpindahan panas melalui perubahan fasa. (Christie, 2003).

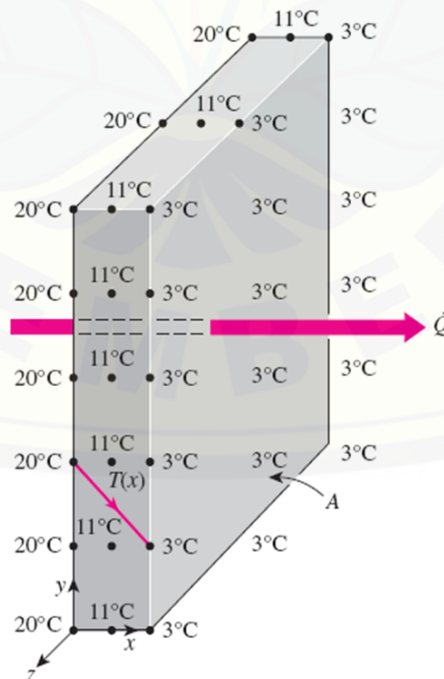
### 2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi termal adalah pertukaran mikroskopis langsung dari energi kinetik partikel melalui batas antara dua sistem. Ketika suatu objek memiliki temperatur yang berbeda dari benda atau lingkungan di sekitarnya, panas mengalir sehingga keduanya memiliki temperatur yang sama pada suatu titik kesetimbangan termal. Perpindahan panas secara spontan terjadi dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur rendah, seperti yang dijelaskan oleh hukum kedua termodinamika. (Christie, 2003)

Pada skala mikroskopik, konduksi panas muncul sebagai rasa panas, atom yang bergetar atau berpindah sedemikian cepat berinteraksi dengan atom dan molekul sekelilingnya sehingga memindahkan sejumlah energi mereka ke partikel di sekelilingnya. Dengan kata lain, panas dipindahkan dengan konduksi ketika atom yang saling berdampingan menggetarkan satu sama lain, atau ketika elektron berpindah dari satu atom ke atom lain. Konduksi adalah bentuk perpindahan panas paling umum pada benda padat pada kontak termal. Fluida-terutama gas-kurang konduktif. Konduktansi kontak termal adalah studi konduksi panas antara benda padat yang saling bersentuhan.

Konduksi *transient* muncul ketika temperatur objek berubah sebagai fungsi waktu. Analisis pada sistem transient lebih kompleks dan sering dipakai untuk aplikasi dari analisis numerik oleh komputer (Abbott, 2005).

Konduksi *steady state* (hukum Fourier) adalah bentuk konduksi yang terjadi ketika perbedaan temperatur yang terjadi pada konduksi berlangsung spontan, maka setelah waktu kesetimbangan, distribusi spasial temperatur pada benda terkonduksi tidak berubah-ubah lagi. Pada konduksi *steady state*, jumlah panas yang memasuki suatu bagian sama dengan jumlah panas yang keluar.



Gambar 2.6 Perpindahan Panas Konduksi pada Sebuah Dinding (Cengel, 2011)

Dalam kondisi *steady* laju perpindahan panas dapat diukur dengan hukum Fourier

$$q = -kA \, dT/dx \quad (2.4)$$

dengan:

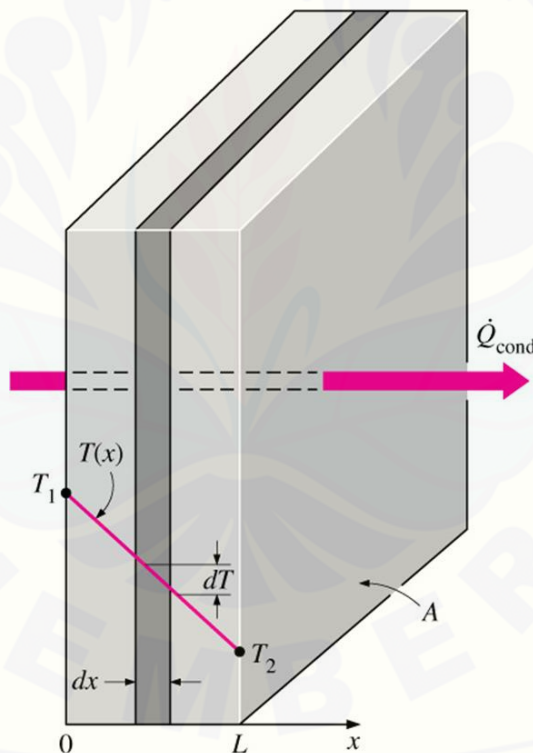
$q$  = Laju konduksi (watt)

$k$  = Konduktifitas termal (W/Km)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$dT/dx$  = Gradien perbedaan temperatur (K)

Tingkat konduksi panas melalui dinding sebanding dengan konduktivitas termal rata-rata, luas dinding, dan perbedaan suhu, namun berbanding terbalik dengan ketebalan dinding.



Gambar 2.7 Perpindahan Panas Konduksi Melalui Sebuah Dinding Yang Memiliki Ketebalan (Cengel, 2011)

Jika laju konduksi panas tersedia, suhu  $T(x)$  pada lokasi manapun  $x$  dapat ditentukan dengan mengganti  $T_2$  dengan  $T$ , dan  $L$  dengan  $x$ .

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_{\text{cond, wall}} \, dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kA \, dT \quad (2.5)$$

Maka laju perpindahan panas konduksi melalui dinding yang memiliki ketebalan dapat didefinisikan sebagai fungsi berikut:

$$q = kA \frac{dT}{L} \quad (2.6)$$

dengan:

$q$  = Laju perpindahan panas (Watt)

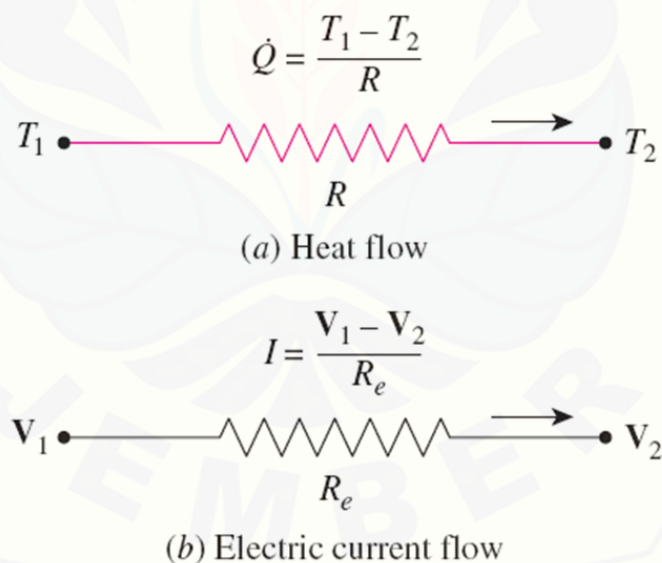
$k$  = Konduktivitas termal (W/Km)

$dT$  = Perbedaan temperatur (K)

$L$  = Panjang lintasan (m)

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Hambatan termal adalah hambatan konduksi atau dengan kata lain adalah lawan dari konduktivitas termal. Pada gambar 2.7 menjelaskan bagaimana hambatan termal dapat dianalogikan seperti resistansi pada aliran listrik. Konsep hambatan termal digunakan untuk mempermudah perhitungan laju konduktivitas pada geometri dan *thermal properties* yang kompleks (Cengel, 2011).



Gambar 2.8 Analogi antara Konsep Resistansi Termal dan Resistansi Elektrikal (Cengel, 2011)

$$R = L/kA \quad (2.7)$$

dengan:

$R$  = Resistansi termal (K/W)

$L$  = Panjang lintasan (m)

$K$  = Konduktivitas termal (W/Km)

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

### 2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi terjadi ketika aliran bahan curah atau fluida (gas atau cairan) membawa panas bersama dengan aliran materi. Aliran fluida dapat terjadi karena proses eksternal, seperti gravitasi atau gaya apung akibat energi panas mengembangkan volume fluida. Konveksi paksa terjadi ketika fluida dipaksa mengalir menggunakan pompa, kipas, atau cara mekanis lainnya (christie, 2003).

Konveksi adalah perpindahan panas yang umum pada cairan dan gas. Perpindahan panas konveksi atau konveksi adalah perpindahan panas dari satu tempat ke tempat lain karena adanya perpindahan fluida, proses perpindahan panas melalui perpindahan massa. Gerak serempak fluida menambah perpindahan panas pada banyak kondisi, seperti misalnya antara permukaan solid dan permukaan fluida (Cengel, 2003).

Konveksi dapat dibagi menjadi dua jenis yakni konveksi bebas (alami) dan konveksi tak bebas (paksa). Konveksi bebas atau alami muncul ketika gerak fluida yang disebabkan oleh gaya apung yang berasal dari perbedaan massa jenis akibat perbedaan temperatur di dalam fluida. Konveksi tak bebas atau paksa adalah istilah yang digunakan ketika aliran di dalam fluida diinduksi oleh benda eksternal, seperti kipas, pengaduk, dan pompa, sehingga menyebabkan konveksi induksi buatan.

Pendinginan atau pemanasan konveksi pada banyak kasus dapat dijelaskan oleh Hukum Newton tentang pendinginan bahwa kecepatan hilangnya panas pada benda sebanding dengan perbedaan temperatur antara benda tersebut dengan lingkungannya. Jumlah laju perpindahan panas secara konveksi sesuai dengan hukum newton dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (2.8)$$

dengan:

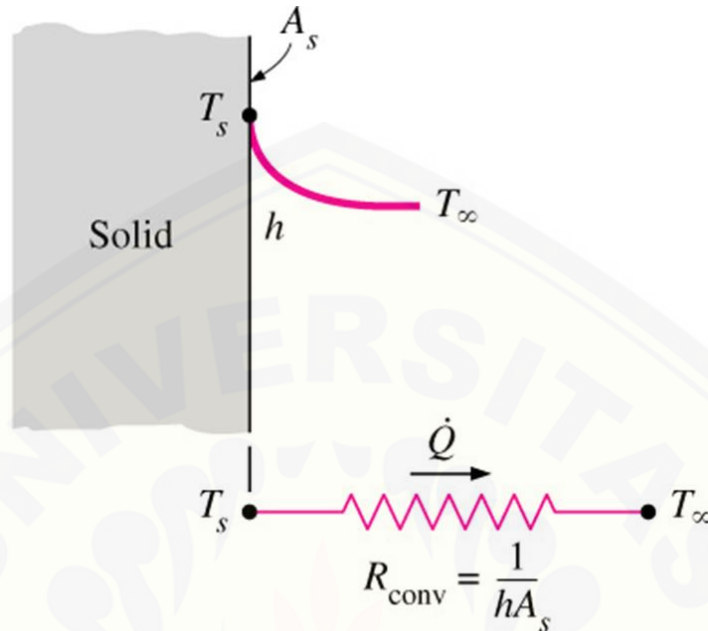
$q$  = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

$h$  = Koefisien konveksi ( $W/m^2K$ )

$T_s$  = Temperatur benda (*solid*) (K)

$T_{\infty}$  = Temperatur fluida (K)

$A_s$  = Luas penampang benda (*solid*) ( $m^2$ )



Gambar 2.9 Skema dari Hambatan (*Resistance*) Konveksi pada sebuah Permukaan  
(Cengel dkk, 2011)

Pada gambar 2.9 menunjukkan konsep dari hambatan termal konveksi pada sebuah permukaan, hambatan termal konveksi dihasilkan oleh media *solid* (padat). Termal yang lolos dari permukaan akan menuju fluida, begitu pula sebaliknya sebaliknya. Bila koefisien perpindahan panas konveksi sangat besar atau mendekati tak hingga ( $h \rightarrow \infty$ ), resistansi konveksi menjadi nol dan  $T_s \approx T$ . Artinya, permukaan tidak memberikan perlawanan terhadap konveksi, dan karenanya tidak memperlambat proses perpindahan panas. Situasi ini ditemukan dalam pada permukaan yang terjadi pendinginan dan kondensasi (Cengel, 2011).

### 2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang dilepaskan oleh benda sebagai gelombang elektromagnetik, karena adanya tumpukan energi termal pada semua benda dengan suhu di atas nol mutlak. Radiasi termal terjadi melalui ruang vakum atau medium transparan. Energi ditransfer melalui foton dalam gelombang elektromagnetik (christie, 2003). Radiasi termal muncul sebagai akibat perpindahan acak dari atom dan molekul benda. Karena atom dan molekul ini terdiri dari partikel

bermuatan (proton dan elektron), pergerakan mereka menghasilkan pelepasan radiasi elektromagnetik yang membawa energi.

Radiasi dari matahari dapat digunakan untuk panas dan tenaga listrik. Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi termal dapat dikumpulkan di sebuah titik kecil menggunakan kaca pemantul, kemudian dimanfaatkan untuk pembangkit listrik solar (Taylor, 2011).

Radiasi dipancarkan oleh permukaan yang memiliki energi termal. Perpindahan panas radiasi ini terjadi tanpa melalui media perantara dan terjadi di ruang hampa (Saputra, 2017). Laju perpindahan padan radiasi sendiri diungkapkan Cengel pada 2011:

$$q = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) = \frac{T_s - T_{sur}}{R_{rad}} \quad (2.9)$$

dengan :

- q = Laju perpindahan kalor radiasi (W)
- $\epsilon$  = Emisivitas, jika permukaan hitam sempurna maka sama dengan 1
- $\sigma$  = Konstanta Boltzman sebesar  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
- A = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = Temperatur radiasi (K)
- $T_{sur}$  = Temperatur permukaan (K)
- $R_{rad}$  = Hambatan radiasi (K/W)

Hambatan radiasi sendiri adalah tahanan termal terhadap radiasi. Pada gambar 2.10 menunjukkan skema dari hambatan radiasi dan konveksi yang terjadi pada sebuah permukaan. Untuk menghitung hambatan radiasi digunakan persamaan (Cengel, 2011):

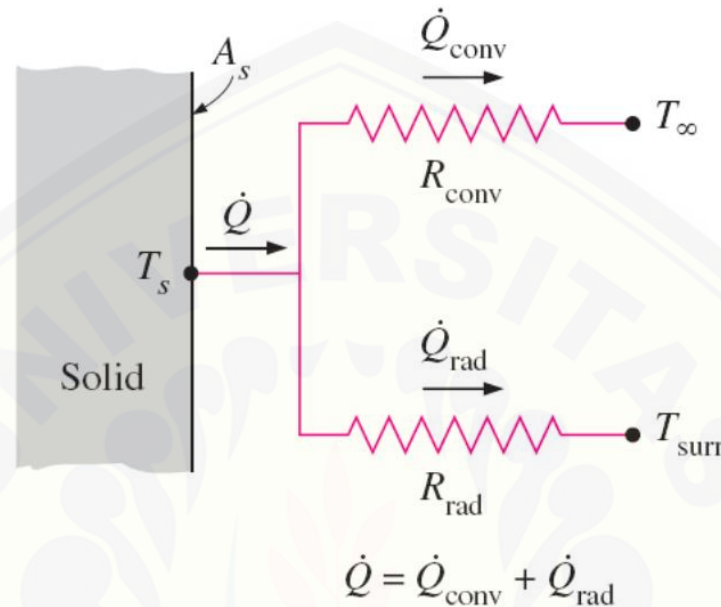
$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} A_s} \quad (2.10)$$

dengan:

- $R_{rad}$  = Hambatan radiasi (K/W)
- $h_{rad}$  = Koefisien hambatan radiasi ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- $A_s$  = Luas Permukaan

Koefisien hambatan radiasi ( $h_{rad}$ ) dapat dihitung dengan cara (Cengel, 2011):

$$h_{rad} = \epsilon \sigma (T_s^2 + T_{sur}^2)(T_s + T_{sur}) = \frac{q}{A_s(T_s - T_{sur})} \quad (2.11)$$



Gambar 2.10 Skema dari Hambatan (*Resistance*) Konveksi dan Radiasi pada sebuah Permukaan (Cengel dkk, 2011)

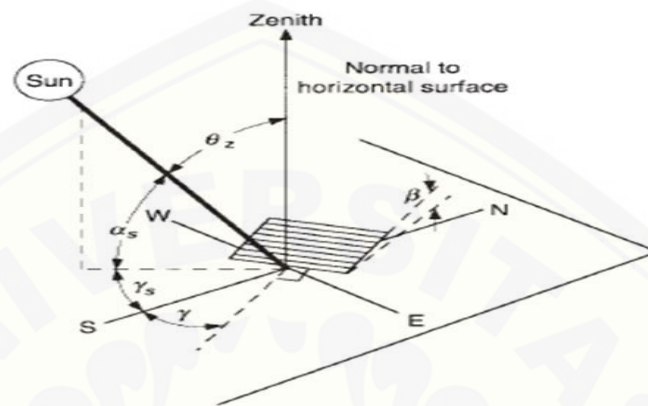
Dalam kenyataannya benda – benda di sekitar kita bukanlah penyerap maupun pemancar radiasi yang sempurna. Salah satu contoh radiasi pada kolektor surya adalah ada pada antara *absorber* dan *cover*. Untuk kondisi paralel semacam itu maka persamaan membutuhkan nilai emisifitas tertentu dari bahan *absorber* dan *cover* yang digunakan (Arismunandar, 1995).

$$q = \frac{\sigma A (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2}} \quad (2.12)$$

Dengan  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  adalah emisifitas dari *absorber* dan *cover* dari kolektor surya yang digunakan. Datangnya radiasi matahari ke bumi memiliki banyak hal yang saling berhubungan dan mempengaruhi radiasi yang dipancarkan maupun diterima, salah satunya yaitu posisi matahari (Duffie, 2013).



Posisi matahari menentukan sudut datang dari radiasi matahari tersebut. Hubungan suatu permukaan dengan arah radiasi surya yang datang dapat digambarkan pada Gambar 2.11 (Duffie, 2013):



Gambar 2.11 Sudut - sudut yang Menentukan Posisi Matahari (Duffie, 2013)

- Sudut lintang ( $\Phi$ ) merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, untuk arah utara diberi tanda positif,  $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$ .
- Sudut deklinasi ( $\delta$ ) 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).

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.13)$$

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

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

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (2.14)$$

Dengan  $\theta_z$  merupakan sudut zenit.

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

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\omega) \quad (2.15)$$

Dengan  $\delta$  merupakan sudut deklinasi matahari,  $\Phi$  adalah sudut lintang, dan  $\omega$  adalah sudut jam.

- e. Sudut jam ( $\omega$ ) merupakan perpindahan sudut matahari ke arah timur atau barat akibat rotasi bumi. Perubahan sudut ini  $15^\circ$  per jam (nilai 0 tepat saat jam 12.00 waktu matahari), ke arah pagi bertanda positif, ke arah malam bertanda negatif.
- f. Sudut azimuth ( $\gamma$ ) 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).

$$\cos(\gamma) = \frac{\sin(\delta) - \sin(\Phi) \cos(\theta_z)}{\cos(\Phi) \sin(\theta_z)} \quad (2.16)$$

Dengan  $\delta$  adalah sudut deklinasi matahari,  $\Phi$  merupakan sudut lintang, dan  $\theta_z$  merupakan sudut zenit.

## 2.6 *Thermal Energi Storage (TES)*

Penyimpanan energi termal (TES) didefinisikan sebagai penahan sementara energi panas dalam bentuk zat panas atau dingin untuk pemanfaatan yang akan digunakan selanjutnya dalam jangka waktu tertentu (Abedin dkk, 2011). Kebutuhan energi TES bervariasi berdasarkan basis harian, mingguan dan musiman. Tuntutan ini dapat disesuaikan dengan bantuan sistem TES yang beroperasi secara sinergis, dan berkaitan dengan penyimpanan energi dengan mendinginkan, memanaskan, meleleh, memperkuat atau menguapkan bahan dan energi termal tersedia saat proses dibalik.

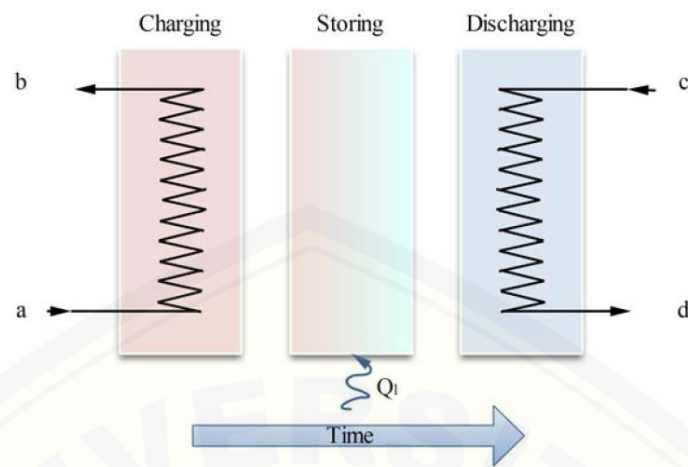
TES adalah teknologi penting dalam sistem yang melibatkan energi terbarukan serta sumber energi lainnya karena dapat membuat operasi suatu

instumen memertahankan *thermal* lebih efisien, terutama dengan menjembatani periode antara periode ketika energi dipanen (*harvest*) pada saat periode saat dibutuhkan. Artinya, TES sangat membantu untuk menyeimbangkan antara energi yang tersedia (*supply*) dan energi yang dibutuhkan (*demand*) (Abedin dkk, 2011 dan Pavlov dkk, 2012).

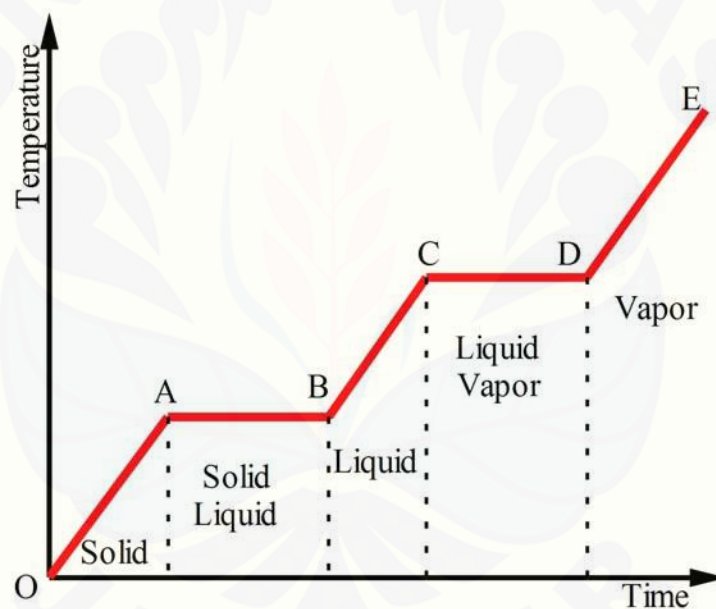
Sistem TES berpotensi meningkatkan penggunaan peralatan energi panas secara efektif dan untuk memfasilitasi pemberantasan bahan bakar skala besar (Pavlov dkk, 2012). Pemilihan sistem TES untuk aplikasi tertentu bergantung pada banyak faktor, termasuk persyaratan penyimpanan, ekonomi, pasokan dan pemanfaatan suhu, kapasitas penyimpanan, kehilangan panas dan ruang yang tersedia (Dincer dkk, 2002).

Jenis TES pada umumnya adalah TES sensibel dan TES laten. Sistem kerja TES yang sensibel adalah dengan cara menyimpan energi dengan mengubah suhu media penyimpanan, yang bisa berupa air, air asin, batu, tanah, dll. Sistem kerja TES Laten adalah dengan cara menyimpan energi melalui perubahan fasa, misalnya penyimpanan air dingin / es dan penyimpanan panas dengan mencairkan lilin paraffin (Abedin dkk, 2011).

Proses TES yang sempurna melibatkan tiga langkah: pengisian (*charging*), penyimpanan (*storage*) dan pemakaian (*discharging*). Dalam sistem praktis beberapa langkah dapat terjadi secara bersamaan (misalnya pengisian dan penyimpanan) dan setiap langkah dapat terjadi lebih dari satu kali dalam setiap siklus penyimpanan. Pada gambar 2.12 diilustrasikan siklus penyimpanan sederhana, dimana ketiga langkah ditampilkan berbeda. Dimana  $Q_1$  panas infiltrasi dan bernilai positif untuk penyimpanan panas dingin. Jika dilepaskan, maka akan menuju ke sekitarnya dan  $Q_1$  akan menjadi negatif. Aliran panas diilustrasikan untuk proses penyimpanan, namun dapat terjadi pada ketiga proses (Dincer dkk, 2002).



Gambar 2.12 *The Three Processes in General TES System* (Lavinia dkk, 2012)



Gambar 2.13 Diagram Temperatur-waktu Pemanasan suatu Bahan (Lavinia dkk, 2012)

Pada gambar 2.13 menunjukkan peningkatan energi internal, bila energi dalam bentuk panas ditambahkan ke suatu zat. Konsekuensi yang biasanya terjadi adalah kenaikan suhu (TES sensibel) atau perubahan fase (TES laten). Dimulai dengan keadaan padat awal pada titik O, penambahan panas ke zat pertama menyebabkan pemanasan *solid* yang sensibel (daerah O sampai A), diikuti oleh perubahan fasa padat ke fasa cair (daerah A sampai B), pemanasan yang masuk akal. Dari cairan (daerah B sampai C), perubahan fasa cairan ke fasa uap (daerah C

sampai D), dan pemanasan uap yang masuk akal (daerah D sampai E). Jumlah total panas dapat ditulis dalam rumus berikut (Demirbas, 2006):

$$Q = m \cdot \left[ \int_{T_O}^{T_A} C_{ps}(T) dT + q_t + \int_{T_B}^{T_C} C_{pl}(T) dT + q_i + \int_{T_D}^{T_E} C_{pv}(T) dT \right] \quad (2.17)$$

Dengan:

$Q(t)$  = Jumlah kalor sensibel (Joule)

$C_{pv}$  = Kalor jenis pada fasa *solid* (J/kg °C)

$C_{pl}$  = Kalor jenis pada fasa *liquid* (J/kg °C)

$C_{pv}$  = Kalor jenis pada fasa *vapour* (J/kg °C)

$(T) dT$  = Perbedaan temperatur (°C)

$m$  = Massa bahan (kg)

Jumlah kalor laten adalah kalor yang diterima oleh suatu bahan agar dapat berubah fasa ke fasa selanjutnya. Pada gambar 2.11 kalor laten ditunjukkan oleh garis mendatar yakni perubahan fasa padat ke fasa cair pada titik A-B, fasa cair ke uap. Total kalor laten dapat ditulis dalam rumus berikut:

$$Q = m (L_{sl} + L_{lv}) \quad (2.18)$$

Dengan:

$Q$  = Jumlah total kalor laten (Joule)

$m$  = Massa bahan (kg)

$L_{sl}$  = Kalor jenis *solid-liquid* (J/kg)

$L_{lv}$  = Kalor jenis *liquid-vapor* (J/kg)

Penyimpanan panas laten adalah salah satu cara paling efisien untuk menyimpan energi panas. Dalam sistem TES laten, energi disimpan selama perubahan fasa (misalnya pencairan, penguapan dan kristalisasi). Karena panas spesifik medium tipikal dan perubahan entalpi tinggi selama perubahan fasa, perubahan panas laten biasanya lebih besar daripada perubahan panas yang masuk akal untuk ukuran sistem yang diberikan (Abedin dkk, 2011). Tidak seperti metode penyimpanan panas yang masuk akal, metode penyimpanan panas laten memberikan kepadatan penyimpanan yang jauh lebih tinggi, dengan perbedaan suhu yang lebih kecil antara penyimpanan dan pelepasan panas. Setiap bahan menyerap panas selama proses pemanasan sementara suhunya terus meningkat.

Panas yang tersimpan dalam material dilepaskan ke lingkungan melalui proses pendinginan terbalik. Selama proses pendinginan, suhu material menurun terus menerus.

Sumber kalor pemanas air tenaga surya (PATS) berasal dari energi matahari dimana radiasi matahari dikonversi menjadi energi termal dan ditransmisikan ke *heat transfer fluid* (HTF) seperti air. Sistem PATS dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori yaitu sistem aktif dan sistem pasif. Kelompok sistem aktif terdiri atas sistem tertutup (*closed loop*) dan sistem terbuka (*open loop*). Kelompok sistem pasif dibagi menjadi 2 jenis yaitu *thermosyphon* dan *integrated collector storage* (ICS) (Jamar, 2016).

Kalor yang tersimpan seketika pada HTF di dalam tangki selama proses charging dihitung berdasarkan perbedaan temperatur air masuk sesaat ( $T_{w,in}(t)$ , °C) dan temperatur air keluar sesaat ( $T_{w,out}(t)$ , °C) pada tangki air panas (Nallusamy, 2007), yaitu:

$$Q(t) = \dot{m} C_{p,w} \{T_{w,out}(t) - T_{w,in}(t)\} \quad (2.19)$$

dengan:

$Q(t)$  = Kalor yang tersimpan pada saat t (Joule)

$C_{p,w}$  = Massa jenis air (J/kg °C)

$\dot{m}$  = Laju aliran massa (kg/ detik)

$T_{w,out}(t)$  = Temperatur air keluar saat t (°C)

$T_{w,in}(t)$  = Temperatur air masuk saat t (°C)

Akumulasi energi kalor yang tersimpan di dalam sistem TES (thermal energy storage) berasal dari air panas (kalor sensibel), PCM (kalor sensibel fase padat, kalor laten dan kalor sensibel fase cair) dan dinding kapsul (kalor sensibel). Menurut (Nallusamy dkk, 2007), besarnya akumulasi energi kalor adalah

$$E(t) = m_w C_{p,w} (T_w(t) - T_{w,i}) + m_p \{ C_{p,ps} (T(t) - T_{p,i}) + L + C_{p,pl} (T_p(t) - T_{p,m}) \} + mc C_d (T_p(t) - T_{p,i}) \quad (2.20)$$

dengan:

$E(t)$  = Energi yang tersimpan dalam t (Joule)

$m_w$  = Massa air (kg)

$m_p$  = Massa PCM (kg)

- $m_d$  = Massa tabung PCM (kg)  
 $C_{p,w}$  = Kalor jenis air (J/kg °C)  
 $C_{p,ps}$  = Kalor PCM pada fasa *solid* (J/kg °C)  
 $C_{p,pl}$  = Kalor jenis PCM pada fase *liquid* (J/kg °C)  
 $C_d$  = Kalor jenis kapsul (J/kg °C)  
 $T_{w,i}$  = Temperatur awal air (°C)  
 $T_w$  = Temperatur air (°C)  
 $T_{p,i}$  = Temperatur awal PCM (°C)  
 $T_p$  = Temperatur PCM (°C)  
 $T_{p,m}$  = Temperatur PCM pada fase liquid (°C)  
 $L$  = Kalor laten pelelehan (J/kg)

Daya termal *output* dari referensi ETC ditentukan dari persamaan 2.26 (Felinski dkk, 2017):

$$Q_{etc} = V_{hm} \rho C_p (T_e - T_{in}) = I A_A \eta_{etc} \quad (2.21)$$

dengan:

- $Q_{etc}$  = Daya termal *output* (W)  
 $V_{hm}$  = laju alir volumetrik media pemanas (m<sup>3</sup>/s)  
 $\rho$  = Densitas (kg/m<sup>3</sup>)  
 $C_p$  = Kapasitas kalor *sensible* (kJ/kgK)  
 $T_e$  = Temperatur *outlet* (K)  
 $T_{in}$  = Temperatur *inlet* (K)  
 $I$  = Intensitas radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>)  
 $A_A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)  
 $\eta_{etc}$  = Efisiensi kolektor surya

## 2.7 Efisiensi Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya

Performansi termal dari sebuah kolektor tabung vakum dapat dihitung menggunakan persamaan efisiensi ( $\eta$ ). Efisiensi dari kolektor tabung surya (ETC) merupakan perbandingan antara panas yang diserap oleh air sebagai fluida kerja dengan radiasi matahari yang diserap oleh luasan kolektor tersebut (Muthukumar, 2016)

$$\eta_{etc} = \frac{Q_{berguna}}{S_{eff} A_c} \quad (2.22)$$

Dengan  $Q_{berguna}$  merupakan panas yang diserap oleh air sebagai fluida kerja,  $S_{eff}$  merupakan radiasi panas yang diserap oleh kolektor, dan  $A_c$  adalah luasan dari kolektor yang digunakan.

## 2.8 PCM (*Phase Change Material*)

PCM (*Phase Change Material*) adalah zat dengan panas fusi yang tinggi, yang dapat meleleh dan membeku pada suhu tertentu, dan mempunyai kemampuan menyimpan maupun melepaskan sejumlah energi yang cukup besar dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan temperature (Meng 2008). Panas diserap atau dilepaskan saat material berubah dari padatan menjadi cair (berubah fasa) dan sebaliknya. PCM diklasifikasikan sebagai unit penyimpanan panas laten (LHS). Durasi penyimpanan panas laten pada *evacuated tube solar collector* menunjukkan peningkatan, ini berarti pelepasan panas dapat ditunda untuk jangka waktu tertentu, sehingga memberikan air panas yang mencukupi walaupun permintaan tinggi atau pada saat intensitas matahari tidak mencukupi. PCMs dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Sharma et al. 2009). Untuk memperoleh efisiensi *evacuated tube solar collector* dalam kisaran 33 sampai 66% tergantung pada intensitas radiasi matahari dan suhu PCM (Felinski, 2017).

## 2.9 Klasifikasi PCM

Secara luas PCMs diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu organik dan anorganik. Pengelompokan ini didasarkan pada titik leleh dan panas peleburan laten. Namun karena tidak ada satu bahan yang dapat memenuhi seluruh sifat yang diinginkan, maka dikembangkan juga PCMs yang merupakan kombinasi antara 2 kelompok bahan (Sharma et al. 2009).

### 2.9.1 PCMs Organik

PCMs organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCMs organik mempunyai rentang temperatur rendah. PCMs organik mahal dan mempunyai rata-rata



panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCMs organik mudah terbakar di alam. PCMs organik dapat dibedakan sebagai paraffin dan non paraffin.

a) *Paraffin*

*Paraffin* terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>. Kristalisasi dari rantai (CH<sub>3</sub>)- melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas paraffin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas. Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten paraffin dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin (Sumber: Sharma dkk., 2009)

Jumlah Atom C	Titik Leleh (°C)	Panas Peleburan Laten (kJ/kg)
14	5.5	228.0
15	10	205.0
16	16.7	237.1
17	21.7	213.0
18	28.0	244.0
19	32.0	222.0
20	36.7	246.0
21	40.2	200.0
22	44.0	249.0
23	47.5	232.0
24	50.6	255.0
25	49.4	238.0
26	56.3	256.0
27	58.8	236.0
28	61.6	253.0

b) *Non-paraffin*

PCMs dari bahan *non-paraffin* merupakan PCMs yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti paraffin yang mempunyai sifat hampir sama.

Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCMs. Di antara bahan-bahan non-*paraffin* tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol (Sawhney, 1994). Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik nonparafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Gambaran dari PCMs non-*paraffin* dapat dilihat pada Tabel 2.2, sedangkan PCMs asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis non-*paraffin* (Sumber: Sharma dkk., 2009)

<b>Material</b>	<b>Titik Leleh (°C)</b>	<b>Panas Laten (kJ/kg)</b>
<i>Formic Acid</i>	78.0	247.0
<i>Capric Acid</i>	16.3	149.0
<i>Glycerin</i>	17.9	198.7
<i>α-Lactic Acid</i>	26.0	184.0
<i>Methyl Palmitat</i>	29.0	205.0
<i>Phenol</i>	41.0	120.0
<i>Beewax</i>	61.8	177.0
<i>Gyolic Acid</i>	63.0	109.0
<i>Azobenzene</i>	67.1	121.0
<i>Acrylic Acid</i>	68.0	115.0
<i>Glutaric Acid</i>	97.5	156.0
<i>Catechol</i>	104.3	207.0
<i>Quenon</i>	115.0	171.0
<i>Benzoic Acid</i>	124.0	167.0
<i>Benzamide</i>	127.2	169.4
<i>Oxalate</i>	54.3	178.0
<i>Alpha Naphtol</i>	96.0	163.0

Tabel 2.3 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak (Sumber: Sharma dkk., 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
<i>Acetic Acid</i>	16.7	184.0
<i>Poly Ethylene Glycol</i>	20.0-25.0	146.0
<i>Capric Acid</i>	36.0	152.0
<i>Elcadic Acid</i>	47.0	218.0
<i>Lauric Acid</i>	49.0	178.0
<i>Pentadecanoic Acid</i>	52.5	178.0
<i>Tristearin</i>	56.0	190.0
<i>Mirystic Acid</i>	58.0	199.0
<i>Palmaric Acid</i>	55.0	163.0
<i>Stearic Acid</i>	69.4	199.0
<i>Acetamide</i>	81.0	141.0

### 2.9.2 PCMs Anorganik

PCMs anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat (*salt hydrate*) garam dan logam (*metallic*). PCMs jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran.

#### a) Hidrat garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk kristal tertentu dari formula umum  $AB.nH_2O$ . Perubahan bentuk padat-cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam. Hidrat-hidrat garam biasanya meleleh menjadi sebuah hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil.

Pada titik lelehnya, kristal-kristal hidrat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air. Hidrat-hidrat garam merupakan jenis PCMs yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari PCMs jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin) dan perubahan volume selama meleleh kecil. PCMs jenis ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik dan hanya beberapa jenis

yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas. Pada Tabel 2.4 dapat dilihat beberapa jenis PCMs dari hidrat garam.

Tabel 2.4 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis hidrat garam (Sumber: Sharma dkk., 2009)

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14.0	109.0
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21.0	105.0
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25.5	148.0
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	27.0	105.0
$CaCl_2 \cdot 12H_2O$	29.8	174.0
$LiNO_3 \cdot 2H_2O$	30.0	296.0
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30.0	267.0
$Na_2O_3 \cdot 10H_2O$	32.0	241.0
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32.4	173.0
$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	33.0	138.0
$CaBr_2 \cdot 6H_2O$	34.0	124.0
$LiBr_2 \cdot 2H_2O$	34.0	134.0
$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	36.1	223.0

### 2.9.3 PCMs Kombinasi

PCMs kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi (George, 1989). PCMs jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan.

Tabel 2.5 Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Jenis *Metallics* (Sumber: Sharma dkk., 2009)

<b>Material</b>	<b>Titik Leleh (°C)</b>	<b>Panas Laten (kJ/kg)</b>
<i>Gallium-gallium</i>	29.8	-
<i>Antimony Eutectic</i>		
<i>Galium</i>	30.0	80.3
<i>Cerrolow Eutectic</i>	58.0	90.9
<i>Bi-Cd-In Eutectic</i>	61.0	25.0
<i>Cerrobend Eutectic</i>	70.0	32.6
<i>Bi-Pb-In Eutectic</i>	70.0	29.0
<i>Bi-Pb Eutectic</i>	72.0	25.0
<i>Bi-Pb-tin Eutectic</i>	96.0	-
<i>Bi-Pb Eutectic</i>	125.0	-

Tabel 2.6 Titik Leleh dan Panas Peleburan Laten Beberapa Kombinasi Organik-Anorganik (Sumber: Sharma dkk., 2009)

<b>Material</b>	<b>Titik Leleh (°C)</b>	<b>Panas Laten (kJ/kg)</b>
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14.4	140.0
<i>Triethylethane+Water+Urea</i>	13.4	160.0
$\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	25.0	95.0
$\text{NH}_3\text{CONH}_2 + \text{NH}_3\text{CONH}_3$	27.0	163.0
<i>Naphtalene+Benzoic Acid</i>	67.0	123.4
<i>Freezer Salt</i>	-50.0	325.0
<i>Freezer Salt</i>	-23.0	330.0
<i>Freezer Salt</i>	-16.0	330.0

## 2.10 Aplikasi PCM

Secara umum aplikasi PCMs ditunjukkan pada Tabel 2.7. Aplikasi-aplikasi ini dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama yaitu perlindungan panas dan penyimpanan. Perbedaan kedua aplikasi tersebut berkaitan dengan konduktivitas panas dari bahan. Dalam beberapa hal perlindungan panas dibutuhkan nilai

konduktivitas panas rendah, sedangkan pada sistem penyimpanan nilai tersebut dapat menimbulkan masalah karena dapat mengeluarkan energi yang memadai tetapi tidak mempunyai kapasitas yang memadai untuk membuang energi secara cepat.

Tabel 2.7 Aplikasi PCMs (Sumber: Zalba dkk., 2003)

No	Aplikasi
1	Penyimpanan panas dari energi matahari
2	Penyimpanan panas pasif pada bioclimstic building
3	Pendingin pada bank es
4	Pemanas dan sanitasi air dalam ruang dengan peralatan computer atau elektrik
5	Perlindungan panas pada makanan selama transportasi, es krim, makanan produk agro, produk susu.
6	Green house
7	Perlindungan panas untuk elektronik
8	Aplikasi medis (transport darah, vaksin)
9	Pendingi mesin

### 2.11 Pemilihan PCM

Pemilihan PCM untuk kolektor surya kompak memenuhi beberapa kriteria seperti yang disebutkan oleh (Abbat, 1981). Kriteria ini meliputi:

- a) kisaran suhu leleh yang dapat diterima,
- b) panas spesifik yang tinggi,
- c) variasi kepadatan rendah selama perubahan fasa,
- d) stabil secara kimiawi,
- e) tidak beracun (tidak berbahaya bagi lingkungan dan mencemari fluida pemanas), dan
- f) tidak mahal (harga beli dan perawatan lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang diperoleh).

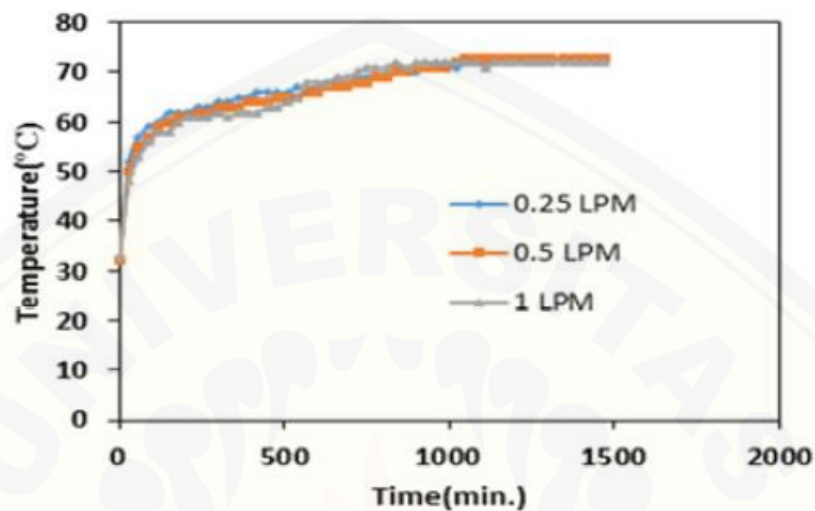
### 2.12 Beewax Sebagai PCM

Sistem penyimpanan panas laten adalah salah satu teknik yang sedang dikembangkan untuk memenuhi permintaan energi dan kesenjangan pasokan energi terhadap pembangunan yang berkelanjutan. Penyimpanan termal dengan bahan

perubah fasa (PCM), merupakan material yang umum digunakan pada sistem penyimpanan panas laten pada *range* temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$ . PCM secara umum dibagi menjadi dua yakni, PCM organik dan anorganik. PCM organik dan anorganik mempunyai berbagai macam bahan dan jenis (Sharma dkk, 2009). Parafin dan asam lemak adalah PCM yang paling sering digunakan sebagai bahan penyimpanan termal pada satu dekade terakhir, dalam aplikasi penyimpanan dengan suhu rendah. Sementara garam cair adalah pilihan pertama untuk sistem penyimpanan panas bersuhu tinggi. Namun, bahan penyimpanan termal ini memiliki manfaat dan kerugian. Parafin dan asam lemak dengan titik leleh yang rendah harganya mahal dan mudah terbakar. Di sisi lain sebagian besar PCM anorganik bersifat korosif dan karenanya memerlukan keterampilan penanganan. Untuk mengatasi masalah tersebut, PCM jenis baru yang dapat digunakan sebagai bahan penyimpanan termal diperlukan yang harus non-korosif, memiliki titik leleh yang diinginkan, non-polusi, dan lebih murah dalam biaya (Dinker dkk, 2015).

Studi eksperimental yang dilakukan oleh Dinker dkk pada tahun 2017 tentang kinerja termal lilin lebah sebagai bahan penyimpanan termal, mengungkapkan bahwa pada penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan serta karakteristik lilin lebah yang dapat digunakan sebagai PCM dan untuk menjelaskan bahwa *beewax* (lilin lebah) dapat digunakan sebagai PCM menurut kriteria PCM yang berlaku. Penelitian Dinker dkk pada tahun 2017 juga bertujuan untuk menganalisis potensi lilin lebah sebagai bahan penyimpanan termal dan penerapannya untuk penyimpanan panas bersuhu rendah. Metode dalam penelitian Dinker pada tahun 2017 yaitu menggunakan sebuah tabung tembaga yang diletakkan pada pusat unit penyimpanan sebagai bagian tabung, instrument ini disebut *heat exchanger*. Air panas digunakan sebagai fluida transfer panas (HTF), kemudian dialirkan melalui tabung tembaga. Pada penelitian ini perlakuan (a) dilakukan untuk mengetahui efek waktu pengisian (*charging*) dan pemakaian (*discharging*) dari penggunaan *beewax* sebagai *heat storage*, perlakuan (a) dilakukan dengan mengalirkan cairan sebagai media pemanas pada  $70^{\circ}\text{C}$  pada berbagai laju aliran (0,25 LPM, 0,5LPM, 1LPM). Waktu pengisian (*charging*) dan pemakaian (*discharging*) dari lilin lebah diteliti dengan perlakuan (b). Perlakuan

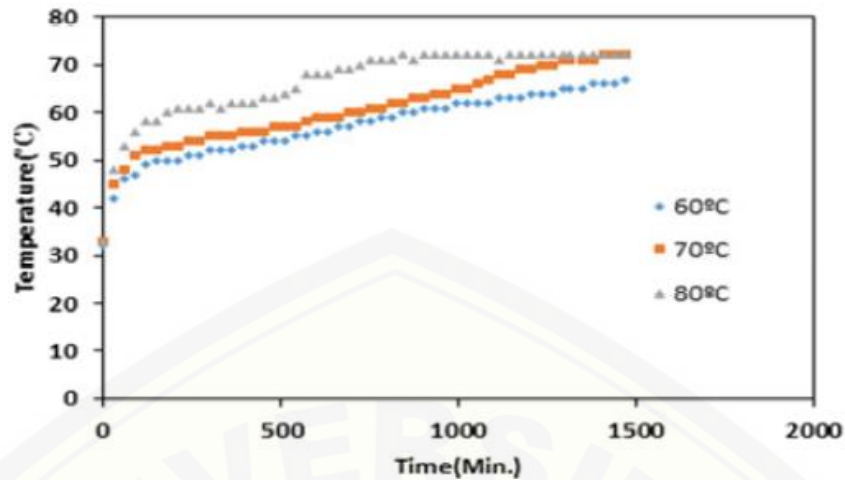
(b) dilakukan dengan cara memvariasikan temperatur *inlet* ( $60^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$ ,  $80^{\circ}\text{C}$ ) dari fluida transfer panas (HTF), serta laju aliran massa dari HTF di kondisikan konstan pada 0.5 LPM. Temperatur pada sembilan titik sepanjang arah aksial dan arah vertikal aliran fluida diperoleh dengan menggunakan termokopel tipe-k.



Gambar 2.14 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Perlakuan (a) (Sumber: Dinkerdkk, 2017)

Hasil yang diperoleh pada perakuan (a), yaitu dengan mengalirkan air panas (HTF) pada temperatur inlet ( $70^{\circ}\text{C}$ ), HTF mengalir dilewatkan pada bagian tabung dari unit penyimpanan termal dengan jenis *shell and tube*, laju aliran massa dari HTF yang mengalir memiliki 3 variabel (0,25 LPM, 0,5LPM, 1,0 LPM). Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut dapat dipelajari dari gambar 2.14 bahwa ada sedikit perubahan dalam waktu pengisian (*charging*) lilin lebah dengan variasi laju aliran massa.





Gambar 2.15 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Perlakuan (b) (Sumber: Dinker dkk, 2017)

Pada perlakuan (b) air keran panas pada variasi temperatur HTF (60°C, 70°C, 80°C), HTF melewati unit penyimpanan termal dengan laju aliran massa konstan yakni 0,5 LPM. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15, dapat diamati bahwa dengan variasi temperatur HTF dapat mengurangi waktu pengisian (*charging*) lilin lebah. Hal tersebut dikarenakan peningkatan temperatur antara HTF dan bahan perubahan fasa (PCM) yang mendorong perpindahan panas lebih cepat selama fase konduksi. Namun karena peleburan lilin lebah dimulai, perpindahan panas konveksi ikut ikut serta memindahkan kalor yang kemudian menyebabkan gerakan lambat fase leleh, hal tersebut dapat menyebabkan perlambatan kenaikan temperatur.

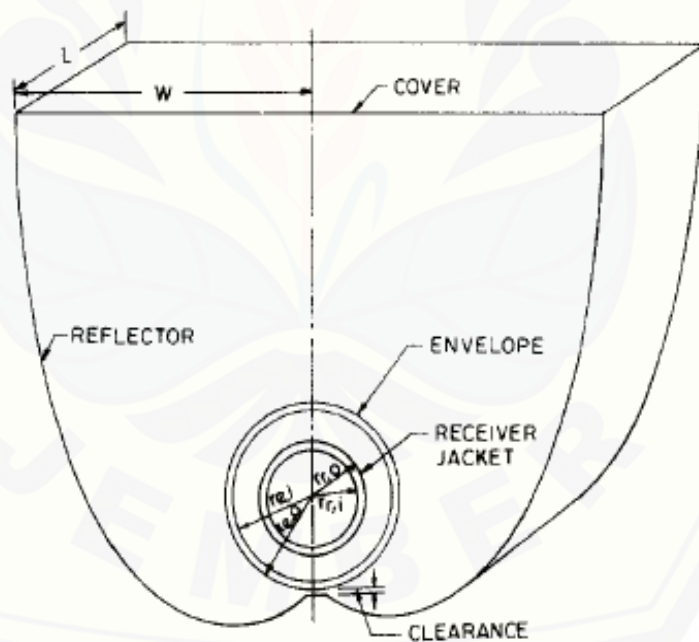
Dalam karya ini dapat disimpulkan bahwa lilin lebah (*beewax*) dapat digunakan sebagai bahan perubahan fasa (PCM) untuk penyimpanan energi panas. Untuk menganalisa permukaan dan sifat panasnya, penulis melakukan karakterisasi permukaan dan termal dari lilin lebah. Unit penyimpanan termal tipe *shell and tube* dengan tabung lurus digunakan untuk mengetahui kinerja termal lilin lebah. Variasi laju aliran massa (0,25 LPM, 0,5LPM, dan 1,0 LPM) dan temperatur *inlet* (60°C, 70°C, 80°C) dari HTF digunakan dalam penelitian ini, HTF yang digunakan melewati bagian tabung unit penyimpanan termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran massa dari HTF tidak memiliki efek yang cukup besar pada waktu pengisian (*charging*) lilin lebah, namun dengan memvariasikan temperatur inlet HTF berturut-turut secara meningkat dapat mengurangi waktu pengisian (*charging*). Hal

ini disebabkan oleh entalpi yang lebih banyak dibawa oleh HTF ketika temperatur tinggi. Kesimpulan yang di dapat adalah dengan konfigurasi unit tabung lurus panas laten, waktu pengisian (*charging*) lilin lebah tidak tergantung pada laju aliran massa HTF tetapi tergantung pada temperatur *inlet*-nya.

## 2.13 Penelitian – Penelitian Sebelumnya

### 2.13.1 Penelitian oleh Sawhney dkk (1984)

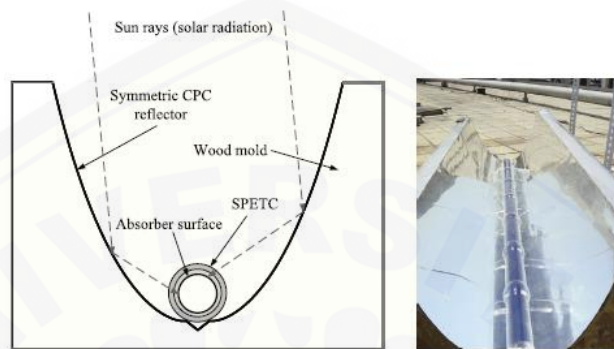
Penelitian yang dilakukan oleh Sawhney dkk (1984) ini mengenai analisa termal dari sebuah kolektor tabung hampa yang diintegrasikan dengan sebuah konsentrator parabolik (Gambar 2.16). Parameter yang dipilih pada penellitian ini adalah laju aliran massa fluida yang bekerja pada kolektor. Hasil dari penelitian ini adalah dengan adanya konsentrator parabolik dan dengan kecilnya nilai perpindahan massa akan menambah efisiensi dari suatu kolektor pemanas air.



Gambar 2.16 *Evacuated Tube Solar Collector* dengan Konsentrator

### 2.13.2 Penelitian oleh Li dkk (2013)

Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk (2013) ini mengenai perbandingan analisa termal dari sebuah kolektor tabung hampa dengan dan tanpa kolektor simetris (Gambar 2.17). Hasil dari percobaan ini adalah dengan laju aliran massa



Gambar 2.17 Desain Kolektor Tabung Hampa dengan Konsentrator

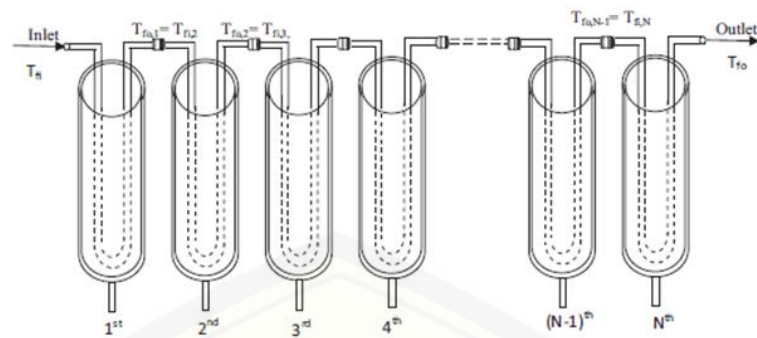
sebesar  $0,0077 \text{ m}^3/\text{s}$ , efisiensi termal harian naik dari 48% ke 66%. Dari hasil penelitian ini terbukti bahwa penggunaan reflektor sebagai konsentrator dapat menaikkan efisiensi dari sebuah kolektor tabung hampa.

### 2.13.3 Penelitian oleh Murugavel dkk (2014)

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

### 2.13.4 Penelitian oleh Mishra dkk (2015)

Penelitian yang dilakukan oleh Mishra dkk (2015) mengenai analisa termal dari kolektor tabung hampa tanpa konsentrator parabolik. Dalam penelitian ini Mishra dkk mengambil parameter dari variasi jumlah tabung kolektor yang disusun

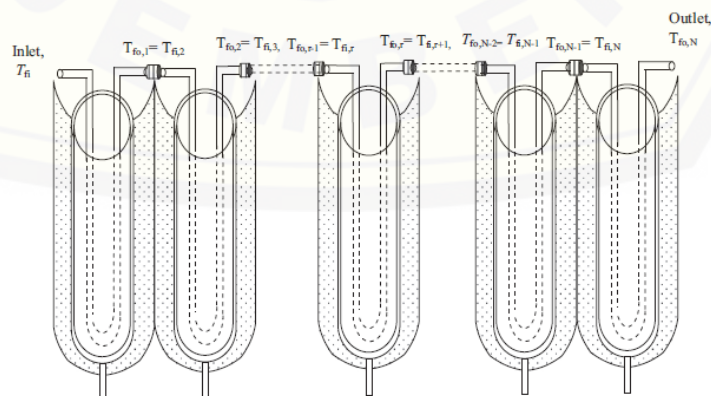


Gambar 2.18 Kolektor yang Disusun secara Seri (Mishra, 2015)

secara seri (Gambar 2.18). Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan semakin banyak jumlah kolektor maka panas yang diserap kolektor akan semakin banyak. semakin banyak kolektor maka perubahan temperatur *inlet* dan *outlet* akan mendekati konstan.

#### 2.13.5 Penelitian oleh Mishra dkk (2017)

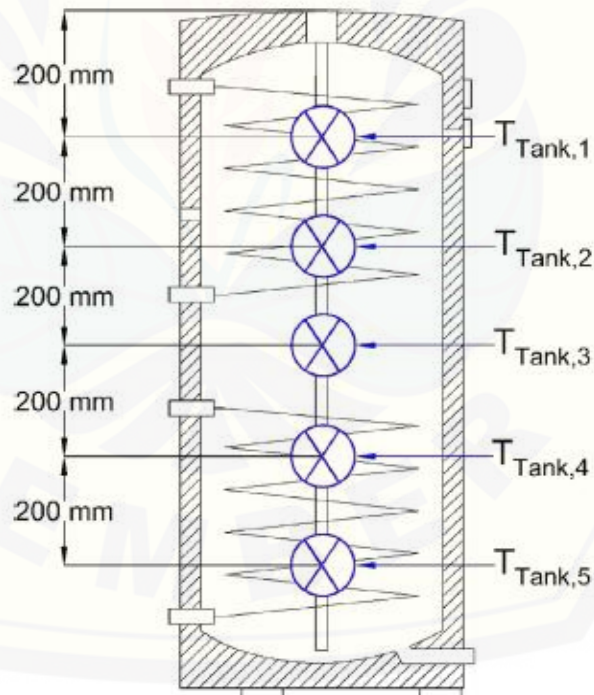
Penelitian Mishra dkk pada tahun 2015 dilanjutkan kembali pada tahun 2017 dengan menambahkan konsentrator parabolik pada kolektor tabung vakum (Gambar 2.19). Mishra dkk (2017) membandingkan panas yang didapatkan kolektor berkonsentrator parabolik dengan penelitiannya pada tahun 2015 yang tidak menggunakan konsentrator parabolik. Dari hasil penelitian ini dapat dibandingkan bahwa dengan konsentrator parabolik, temperatur air yang dihasilkan lebih tinggi daripada yang tidak. Dengan adanya konsentrator parabolik ini terbukti menambah efisiensi dari kolektor.



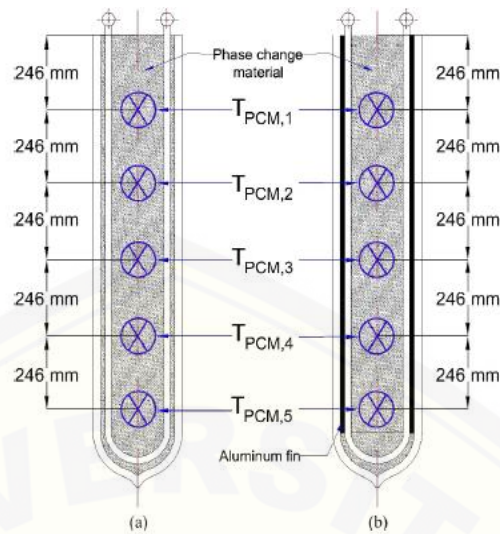
Gambar 2.19 Penambahan Konsentrator Parabolik pada Kolektor (Mishra, 2017)

### 2.13.6 Penelitian oleh Abkoresh dkk (2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Abkoresh dkk (2017) ini mengenai penggunaan PCM (*Phase change material*) dalam pemanas air tenaga surya berbasis kolektor surya tabung hampa yang kompak dengan pipa U (*U-pipe evacuated solar collector*). Abkoresh dkk mengumpulkan berbagai penelitian mengenai berbagai macam pengujian kolektor tabung hampa dengan PCM. Abkoresh dkk menggunakan *paraffin* (ALEX WAX 600) sebagai PCM. Penelitian bertujuan membandingkan kinerja antara sistem A yang ditunjukkan oleh gambar 2.20 yang menggunakan kolektor surya tabung hampa biasa tanpa menggunakan PCM dan pipa U dengan kolektor surya tabung hampa yang kompak dengan pipa U pada sistem B dan C yang ditunjukkan oleh gambar 2.21 dengan PCM. Parameter sebagai pembanding ketiga jenis sistem penelitian adalah temperatur dalam tangki ( $T_{tank}$ ) untuk sistem A dan temperatur PCM ( $T_{PCM}$ ) untuk sistem B dan C.



Gambar 2.20 Pemanas Air Bertenaga Surya Sistem (a) (Abkoresh, 2017)

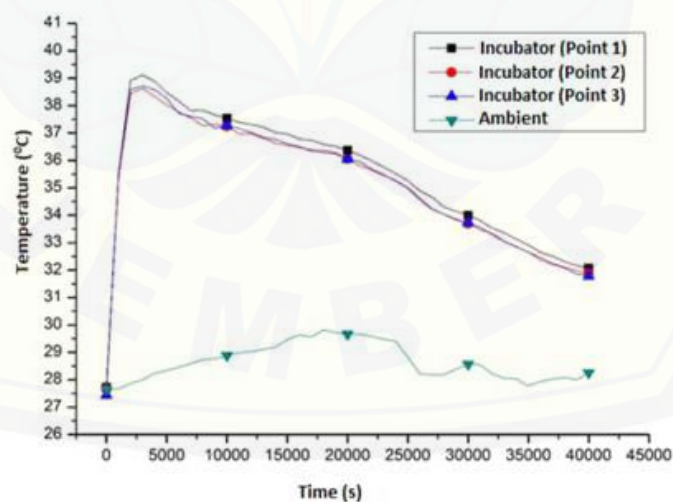


Gambar 2.21 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem B(a), dan Sistem C (b)(Abkoreh, 2017)

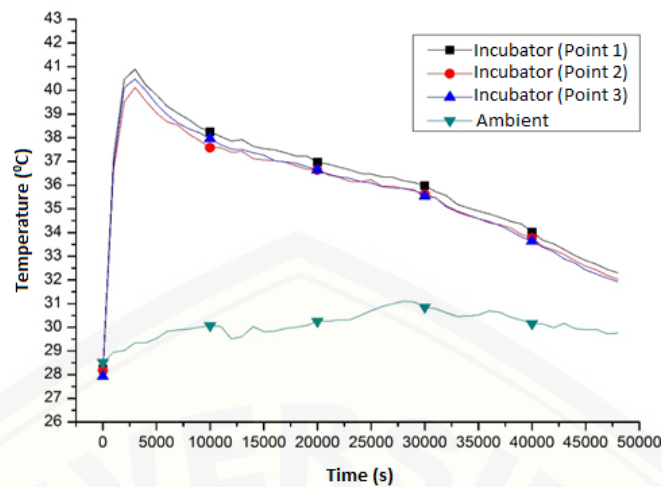
Hasilnya efisiensi dari sistem C lebih tinggi dibanding sistem A dan B tetapi sistem C memiliki solar fraction sistem lebih rendah di bandingkan dengan sistem B.

#### 2.13.7 Penelitian oleh Sekar dkk (2016)

Penelitian Sekar dkk (2016) merupakan penggunaan PCM *paraffin* dan *beeswax* sebagai *heat energy storage* pada incubator. PCM diletakkan pada *catridge* bagian bawah dari inkubator.



Gambar 2.22 Distribusi Temperatur Inkubator dengan Menggunakan *Paraffin* (Sekar,2016)



Gambar 2.23 Distribusi Temperatur Inkubator dengan Menggunakan *Beeswax* (Sekar,2016)

Keseluruhan empat percobaan menegaskan bahwa *paraffin* dan lilin lebah memiliki kemampuan yang baik untuk menyimpan energi panas pada suhu di atas  $32^{\circ}\text{C}$  selama lebih dari 8 jam pada inkubator bayi. *Paraffin* dan lilin lebah juga dapat menyimpan dan melepaskan energi panas sebagai pemanas substitusi pada inkubator bayi. Dari hasil pengujian, kinerja lilin lebah sebagai penyimpanan energi panas lebih baik daripada parafin. Lilin lebah bahan lokal dapat digunakan sebagai bahan untuk media penyimpanan panas PCM baru daripada memanaskan inkubator bayi.

#### 2.14 Hipotesis

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

- Efisiensi dari kolektor A (PCM *paraffin* 70% dan *beewax* 30% dari volume) lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor B (PCM *paraffin* 30% dan *beewax* 70% dari volume).
- Temperatur air keluaran dari kolektor A (PCM *paraffin* 70% dan *beewax* 30% dari volume) lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor B (PCM *paraffin* 30% dan *beewax* 70% dari volume).
- Daya simpan kalor dari kolektor B (PCM *paraffin* 30% dan *beewax* 70% dari volume) lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor A (PCM *paraffin* 70% dan *beewax* 30% dai volume).

### 2.15 Pengujian Hipotesis

Untuk pengujian suatu hipotesis penelitian, terdapat langkah – langkah pengujian yang sering digunakan pada statistika yaitu menyatakan hipotesis nol-nya ( $H_0 : \theta > \theta_0$ ), untuk level signifikan  $\alpha = 5\%$ , pengujian menggunakan uji T, hitung nilai uji statistika, keputusan tolak  $H_0$  jika nilai ‘t’ hasil lebih besar dari ‘t’ tabel.

Terdapat 2 pengaruh pemberian penggunaan PCM A (*paraffin* 70% dengan *beewax* 30%) dan PCM B (*paraffin* 30% dengan *beewax* 70%) adalah  $\mu_1 = \mu_2$ . Hipotesis skeptis ini disebut sebagai hipotesis nol atau dinotasikan sebagai  $H_0$ . Hipotesis penelitian yang ditandingkan dengan hipotesis nol disebut hipotesis tandingan sebagai  $H_1$ . Hipotesis nol dan hipotesis tandingan mengenai perlakuan PCM A dan PCM B pada percobaan kolektor pemanas air tenaga surya dengan demikian adalah :

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &> \mu_2 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Dimana:

$H_0$  = hipotesis nol

$H_1$  = hipotesis tandingan

$\mu_1$  = rata-rata populasi PCM A

$\mu_2$  = rata-rata populasi PCM B

$t_a$  = nilai peubah T, yang berlaku  $P(T > t_a) = \alpha$

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{gab} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, S_{gab} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.24)$$

Ketrangan :

$\bar{X}$  = Nilai tengah sampel

$n_1$  = Jumlah nilai sampel pertama

$n_2$  = Jumlah nilai sampel kedua

$S_1^2$  = Varian/ keragaman sampel PCM A

$S_2^2$  = Varian/ keragaman sampel PCM B



Untuk mengetahui nilai S dapat menggunakan persamaan berikut:

$$s^2 = \sum \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$S^2$  = Varian

$X_i$  = Sebuah entri dalam data

$\bar{X}$  = Nilai tengah

$n$  = Jumlah data



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang di gunakan adalah metode penelitin eksperimental. Yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Metode ini digunakan dalam menguji dan membandingkan efisiensi serta temperatur keluaran air (*outlet*) dari pemanas air tenaga surya, antara pemanas air yang menggunakan variasi komposisi *paraffin* 70% dan *beewax* 30% dari volume sebagai kolektor A dengan pemanas air yang menggunakan *paraffin* 30% dan *beewax* 70% dari volume sebagai kolektor B. Dengan variasi laju aliran massa. Yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen, guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini objek penelitian yang diamati adalah pengaruh variasi cuaca dan *heatstorage* untuk kerja kolektor surya jenis tabung ETC.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

##### 3.2.1 Waktu penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dapat dilakukan pada bulan Maret 2018 sampai bulan Juni 2018.

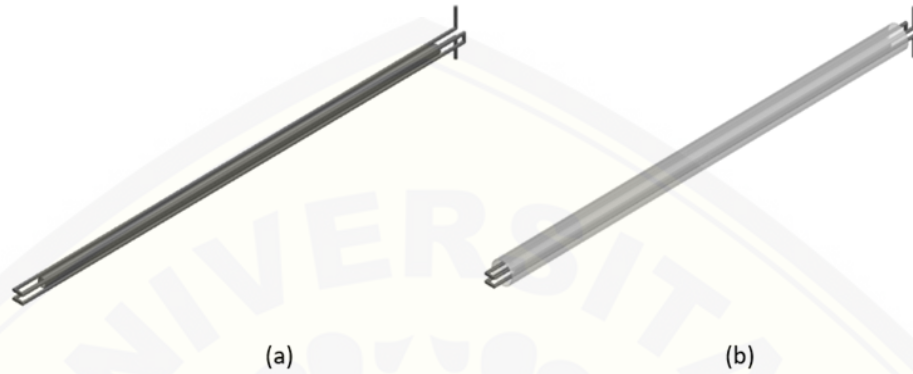
##### 3.2.2 Tempat Penelitian

- a. Pembuatan Kolektor Surya dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- b. Pengambilan sample data akan dilakukan di halaman Fakultas Teknik Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian meliputi:

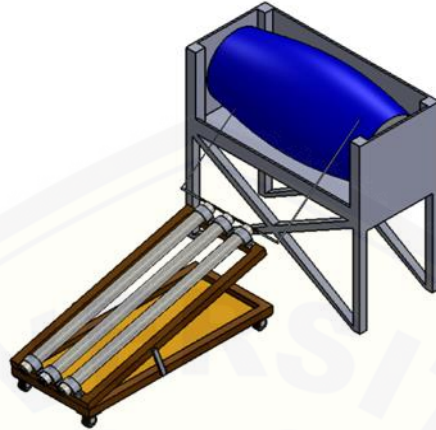
#### 3.3.1 Pembuatan Kolektor Surya



Gambar 3.1 Desain Bagian dalam Kolektor Tabung (a), Kolektor Tabung dengan Covernya (b)

- a. Alat yang digunakan meliputi:
  - 1) Gerinda
  - 2) Las butana
  - 3) Mistar dan meteran
  - 4) Tang jepit
  - 5) Busur derajat
  - 6) Perekat dan selotip
- b. Bahan yang digunakan meliputi:
  - 1) Pipa tembaga berdiameter  $\frac{1}{4}$  inchi
  - 2) Pipa Tembaga berdiameter  $\frac{3}{8}$  inchi
  - 3) *Knee* pipa tembaga berdiameter  $\frac{1}{4}$  inchi
  - 4) Gas butana
  - 5) Korek api
  - 6) Pipa Akrilik
  - 7) *Styrofoam*
  - 8) Plat lembaran aluminium
  - 9) Cat

### 3.3.2 Pembuatan Pemanas Air Energi Surya (*Solar Water Heater*)



Gambar 3.2 Rencana Desain Alat Pemanas Air Energi Surya

- a. Alat yang digunakan meliputi:
  - 1) Gerinda
  - 2) Palu
  - 3) Meteran
  - 4) *Thermometer*
  - 5) Kabel *Thermocouple*
  - 6) *Stopwatch*
  - 7) Gunting atau pemotong pelat
  - 8) Gelas ukur
  - 9) Busur derajat
- b. Bahan yang digunakan meliputi
  - 1) Selang plastik berdiameter  $\frac{1}{4}$  inchi
  - 2) Tandon air
  - 3) Pompa air akuarium
  - 4) *Paraffin wax*
  - 5) *Beewax*
  - 6) Kayu
  - 7) *Glasswool*
  - 8) *Stainless steel sheet*

- 9) Paku
- 10) Perekat
- 11) 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. Variasi komposisi PCM campuran *paraffin* dan *beewax*
- b. Laju aliran massa air.

#### 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.
- c. Daya simpan kalor.

#### 3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang digunakan untuk menyamakan persepsi mengenai penelitian ini. Variabel kontrol yang dipilih pada penelitian ini antara lain:

- a. Fluida yang digunakan adalah air.
- b. Lama waktu pengamatan dan pengambilan data adalah 8 jam dimulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 dengan pengambilan sampel data setiap jamnya.

### 3.5 Pengamatan yang Dilakukan

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

- Rata – rata radiasi surya ( $I$ ).
- Rata – rata temperatur *absorber* ( $T_{abs}$ ).
- Rata – rata temperatur PCM ( $T_{PCM}$ ).
- Rata – rata temperatur reflektor ( $T_r$ ).
- Temperatur *inlet* air ( $T_i$ ).
- Temperatur *outlet* air ( $T_o$ ).

Tabel 3.1 Pengambilan Data pada Kolektor A

<b>Jam</b>	<b>I</b> ( $W/m^2$ )	<b>T<sub>c</sub></b> (°C)	<b>T<sub>abs</sub></b> (°C)	<b>T<sub>PCM</sub></b> (°C)	<b>T<sub>r</sub></b> (°C)	<b>T<sub>i</sub></b> (°C)	<b>T<sub>o</sub></b> (°C)
08.00							
08.30							
09.00							
09.30							
10.00							
10.30							
11.00							
11.30							
12.00							
12.30							
13.00							
13.30							
14.00							
14.30							
15.00							
15.30							
16.00							

Tabel 3.2 Pengambilan Data pada Kolektor B

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>c</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>abs</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>PCM</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>r</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>o</sub> (°C)</b>
08.00							
08.30							
09.00							
09.30							
10.00							
10.30							
11.00							
11.30							
12.00							
12.30							
13.00							
13.30							
14.00							
14.30							
15.00							
15.30							
16.00							

### 3.6 Tahapan-tahapan Penelitian

#### 3.6.1 Tahap Persiapan

- a. Mengecek kondisi dan kelengkapan pemanas air tenaga surya.
- b. Menentukan sudut azimuth ( $\gamma$ ) dengan menggunakan persamaan 2.16.
- c. Menentukan sudut attitude dengan menggunakan persamaan 2.14.
- d. Menghadapkan dan memposisikan kolektor surya pada posisi sudut yang sudah ditentukan pada langkah b dan c.

3.6.2 Tahapan Penelitian

- a. Pengambilan data dengan menempatkan dua pemanas air tenaga surya. Pemanas air tenaga surya A menggunakan komposisi PCM 30% *beewax* dan 70% *paraffin*, pemanas air tenaga surya B menggunakan komposisi PCM 70% *beewax* dan 30% *paraffin*).
- b. Mengukur radiasi surya dengan menggunakan *digital solar power meter*.
- c. Mengukur temperatur pada masing-masing titik analisa sesuai pada subbab 3.5 dengan menggunakan *digital thermometer*.
- d. Pengambilan data diambil selama 8 jam dari pukul 07.45 sampai dengan 16.15 dengan interval 5 menit.
- e. Pengambilan data dan pembuatan grafik.

3.6.3 Pengolahan Data

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

- a. Kalor yang diserap air.

$$Q_{air} = \dot{m} c_p (T_{in} - T_{out}) \dots \dots \dots (3.1)$$

- b. Kalor yang tersimpan pada PCM.

$$Q_{pcm} = (m_a C_{ap,s} + m_b C_{bp,s}) \Delta T_{pcm,s} + (m_a L_a + m_b L_b) + (m_a C_{ap,l} + m_b C_{bp,l}) \Delta T_{pcm,l} \dots \dots \dots (3.2)$$

- c. Kalor radiasi langsung matahari

$$Q_i = \frac{1}{2} l n A \dots \dots \dots (3.3)$$

- d. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator*

$$Q_{ip} = l n A \rho \dots \dots \dots (3.4)$$

- e. Kalor radiasi pancaran *Parabolic Concentrator*

$$Q_b = \varepsilon \sigma A (T_{CPC}^4 - \left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2}\right)^4) \dots \dots \dots (3.5)$$

- f. Kalor radiasi langsung matahari yang diserab absorber

$$Q_{i abs} = \frac{1}{2} l n A_{abs} \dots \dots \dots (3.6)$$

- g. Kalor pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber

$$Q_{ip abs} = \frac{1}{2} l n A_{abs} \rho \dots \dots \dots (3.7)$$

- h. Kalor Radiasi pancaran *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber

$$Q_{b abs} = \varepsilon \sigma A_{abs} (T_c^4 - T_{abs}^4) \dots \dots \dots (3.8)$$

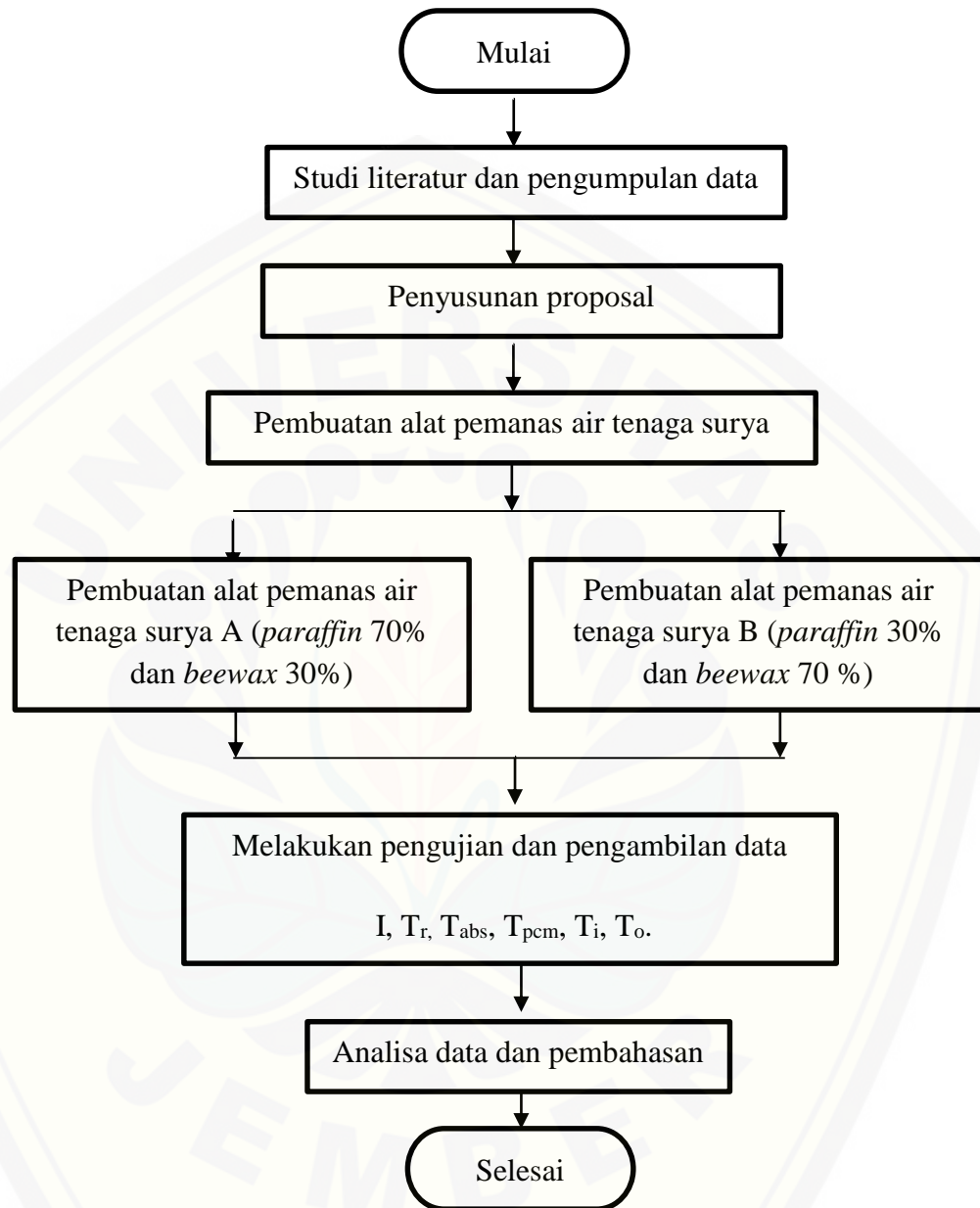


i. Efisiensi

$$\eta = \frac{Q_{air}}{(Q_i + Q_{ip} + Q_b) - (Q_{ia} + Q_{ipa} + Q_{bs})} \times 100\% \dots \dots \dots (3.9)$$



## 3.7 Diagram Alir Penelitian



## BAB 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Komposisi PCM mempengaruhi temperatur PCM dari pemanas air tenaga surya. Temperatur *outlet* pada kolektor A dengan PCM (*paraffin* 70% dan *beewax* 30%) lebih tinggi daripada temperatur *outlet* pada kolektor B dengan PCM (*paraffin* 30% dan *beewax* 70%). Namun pada laju aliran massa 0,004 kg/s dan 0,001 kg/s temperatur *outlet* pada kolektor B lebih tinggi pada pukul 15.30 sampai 16.00 dan 13.00 sampai 16.00. Hal ini disebabkan karena kolektor B memiliki titik leleh lebih tinggi sehingga kalor yang tersimpan tinggi dan dapat menaikkan nilai temperatur air outlet pemanas air lebih lama ketika terjadi penurunan intensitas radiasi matahari.
- b. Temperatur PCM mempengaruhi kalor yang diserap oleh PCM. Semakin besar perbedaan nilai  $T_{x-30}$  dengan  $T_x$  pada pukul 08.00 sampai pukul 11.30 maka semakin besar kalor yang diserap PCM. Sebaliknya, semakin besar perbedaan nilai  $T_{x-30}$  dengan  $T_x$  pada pukul 12.00 sampai 16.00 maka semakin kecil kalor yang diserap PCM.
- c. Komposisi PCM mempengaruhi efisiensi dari pemanas air tenaga surya. Nilai efisiensi lebih tinggi pada pukul 16.00 daripada pukul 08.00 dialami pada laju aliran massa 0,004 kg/s dan 0,001 kg/s, sedangkan pada laju aliran massa 0,008 kg/s nilai efisiensi pada pukul 16.00 lebih rendah daripada pukul 08.00. Hal tersebut dikarenakan tingginya nilai massa kali kalor jenis termal PCM pada kolektor A dan B pada laju aliran massa 0,008 kg/s sehingga PCM tidak berfungsi optimal.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan yaitu penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian dengan durasi waktu lebih lama atau pada saat tanpa radiasi matahari supaya dapat melihat fungsi PCM sebagai bahan penyimpan kalor.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbat, A. 1981. Development of modular heat exchanger with an integrated latent heat storage. Germany Ministry of Science and Technology. Report number BMFT FBT 81-050.
- Abd-Elhady M.S., M. Nasreldin dan M.N. Elsheikh. 2017. Improving the Performance of Evacuated Tube Heat Pipe Collectors Using Oil and Foamed Metals. *Journal of Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.10.001>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Abedin A. H., dan M. A. Rosen. 2011. A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems. *The Open Renewable Energy Journal*. 4: 42-46. DOI: 10.2174/1876387101004010042
- Abokersh M. H., M. El-Morsi, O. Sharaf dan W. Abdelrahman. 2017. On-Demand Operation Of A Compact Solar Water Heater Based On U-Pipe Evacuated Tube Solar Collector Combined With Phase Change Material. *Journal of Solar Energy*. 155 (2017) 1130–1147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.008>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Al-harashsheh M., M. Abu-Arabi, H. Mousa dan Z. Alzghoul. 2017. *Journal of Applied Thermal Engineering*. S1359-4311(17)31000-1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.073>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Anil, K., O. Prakash dan A. K. Kaviti. 2017. A Comprehensive Review of Scheffler Solar Collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1364-0321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.044>. [Diakses tanggal 17 Oktober 2017]
- Arismunandar, Wiranto dan Saito, Heizo, 1995, Penyegaran Udara, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

- Aryadinata I G. N. A., M. Sucipta, dan K. Astawa. 2017. Analisa Performasi Kolektor Surya Terkonsentrasi Dengan Variasi Jumlah Pipa Absorber Berbentuk Spiral. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*. Vol.6 No.1, Januari 2017 (11-16). Jurusan Teknik Mesin Non Reguler Universitas Udayana
- 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.
- Bhowmik C., S. Bhowmik, A. Ray, K. Murari, dan Pandey. 2016. A Review Optimal green energy planning for Sustainable Development. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 71, May 2017, Pages 796-813. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.105>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Bhowmik H., dan R. Amin. 2017. Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. *Journal of Energy Reports*. Energy Reports 3 (2017) 119–123. <https://www.researchgate.net/publication>. [Diakses pada tanggal 14 November 2017]
- Boxwell M. 2012. A Simple Practical Guide to Solar Energy. *Solar Electricity Handbook*. p. 41–42. [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_irradiance](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_irradiance). [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Cengel Y., dan M. A. Boles. 2011. Thermodynamics An Engineering Approach (SI Units). Paperback
- Christie J. G. 2003. Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations). Pearson Education. Hardback
- Christopher J. C., C. R. Evans, D. C. Gregory, dan R. M. Taylor. 2011. Reflector assemblies, systems, and methods for collecting solar radiation for photovoltaic electricity generation

- 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
- Demirbas M. F. 2006. Thermal Energy Storage and Phase Change Materials: An Overview. *Journal of Energy Sources*. Vol. 1, 2006 - Issue 1. <https://doi.org/10.1080/009083190881481>. [Diakses pada tanggal 17 November 2017]
- Dincer I. 2002. Thermal energy storage systems as a key technology in energy conservation. *Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.805>
- Dinker A., M. Agarwal dan G.D. Agarwal. 2015. Heat Storage Materials, Geometry and Applications: a Riview. *Journal of Energy Inst* 2015:90 1-11
- Dinker A., M. Agarwal dan G.D. Agarwal. 2016. Experimental Study on Thermal Performance of Beeswax as Thermal Storage Material. *Journal of Material Today*. 4 (2017) 10529–10533. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Duffie J. A., dan W. A. Beckman. 1991. *Solar Enggineering of Thermal Processes*, Second Edition. John Willey and Sons, Inc. New York. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Duffie J. A., dan W. A. Beckman. 2013. *Solar Enggineering of Thermal Processes*, Fourth Edition. John Willey and Sons, Inc. New York. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Dwivedi, V., 2009. *Thermal Modelling and Control of Domestic Hot Water Tank*, Glasgow: University of Strathclyde.
- Ersöz M. A. 2016. Effects of Different Working Fluid Use on the Energy and Exergy Performance for Evacuated Tube Solar Collector with Thermosyphon Heat Pipe. *Journal of Renewable Energy*. 96 (2016) 244-256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.058>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Feliński, P dan R. Sekret. 2017. Effect of PCM Application inside an Evacuated Tube Collector on the Thermal Performance of a Domestic Hot Water

- System. *Journal of Energy and Buildings*. S0378-7788(17)30680-1. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2017.07.065>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Gabriela L., 2012. Thermal Energy Storage with Phase Change Material. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. Issue 20, January-June (2012) ISSN 1583-1078 p. 75-98. <http://lejpt.academicdirect.org>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- George A. 1989. Phase change thermal storage materials. In: Guyer C (ed) *Handbook of thermal design*
- Ghaderian J., N. A. C. Sidik, A. Kasaeian, S. Ghaderian, A. Okhovat, A. Pakzadeh, S. Samion dan W. J. Yahya. 2016. Performance of Copper Oxide/Distilled Water Nanofluid in Evacuated Tube Solar Collector (ETSC) Water Heater with Internal Coil under Thermosyphon System Circulations. *Journal of Applied Thermal Engineering*. S1359-4311(16)33089-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.117>.. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- 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.
- Jamar, A., Z. A. A.Majid, W. H. Azmi, M. Norhafana, A. A. Razak. 2016. A review of water heating system for solar energy applications. *Journal of International Communications in Heat and Mass Transfer*. Volume 76, August 2016, Pages 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Jansen, T. J., 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. 1st ed. Jakarta: PT PRADNYA PARAMITA.
- Kabeel A.E., A. Khalil, S.S. Elsayed dan A.M. Alatyar. 2015. Modified Mathematical Model for Evaluating the Performance of Water-In-Glass Evacuated Tube Solar Collector Considering Tube Shading Effect. *Journal of Energy*. 89 (2015) 24-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.072>. [Diakses tanggal 14 November 2017]



- Kabeel, A.E., K. Dawood dan A. I. Shehata. 2017. Augmentation of Thermal Efficiency of The Glass Evacuated Solar Tube Collector with Coaxial Heat Pipe with Different Refrigerants and Filling Ratio. *Journal of Energy Conversion and Management*. 138 (2017) 286–298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.048>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Kadir, Abdul. 1995. Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik Dan Potensi Ekonomi. Jakarta : Penerbit Universita Indonesia (UI-Press)
- Lavinia S. 2012. Thermal Energy Storage with Phase Change Material. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. Issue 20, January-June 2012 p. 75-98. <http://lejpt.academicdirect.org>. [Diakses pada tanggal 17 November 2017]
- Lin Y., Y. Jia, G. Alva dan G. Fang. 2017. Review on Thermal Conductivity Enhancement, Thermal Properties and Applications of Phase Change Materials in Thermal Energy Storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.002>. . [Diakses tanggal 14 November 2017]
- 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.
- Li S., P. Karava, E. Savory, dan W E. Lin. 2013. Airflow and thermal analysis of flat and corrugated unglazedtranspired solar collectors. *Journal of Solar Energy*. 91 (2013) 297–315
- Lubis, A., 2007. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), pp. 155-162.
- Mendoza B. 2005. Total Solar Irradiance and Climate. *Journal of Advances in Space Research*. 35 (2005) 882–890. DOI: 10.1016/j.asr.2004.10.011. [Diakses tanggal 14 November 2017]

- Mishra R.K., V Garg, G.N. Tiwari. 2015. Thermal Modeling and Development of Characteristic Equations of Evacuated Tubular Collector (ETC). *Journal of Solar Energy*. 116 (2015) 165–176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.003>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Mishra R.K., V. Garg dan G.N. Tiwari. 2017. Energy Matrices of U-Shaped Evacuated Tubular Collector (ETC) Integrated With Compound Parabolic Concentrator (CPC). *Journal of Solar Energy*. 153 (2017) 531–539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.004>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Murugavel, K. K. & Devanarayanan, K., 2014. Integrated collector storage solar water heater with compound parabolic 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.
- Naik B. K., A.Varshney, P.Muthukumara dan C. Somayajia. 2016. Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube Solar Collector Using Different Working Fluids. *Journal of Energy Procedia*. 90 (2016) 227 – 237. 10.1016/j.egypro.2016.11.189. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Nallusamy N., S. Sampath, dan R. Velraj. 2007. Experimental investigation on a combined sensible and latent heat storage system integrated with constan/varying (solar) heat sources. *Journal of Renewable Energy*. 2007, vol 32: 1206-27.
- Nandy P., W. Adi, dan M. Amin. 2015. Uji Eksperimental Kinerja PCM Beeswax Sebagai Thermal Storage pada Aplikasi Pemanas Air Domestik. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*. Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). June 27-29, 2006. *Solar Thermal Technology & Applications*. NAEMI Solar Electric & Thermal Training Workshop. Midwest Research Institute.

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.

Norton B. 2013. *Solar Thermal Technology*. Springer-Verlag. Paperback

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.

Papadimitratos A., S. Sobhansarbandi, V. Pozdin, A. Zakhidov dan F. Hassanipour. 2016. Evacuated Tube Solar Collectors Integrated With Phase Change Materials. *Journal of Solar Energy*. 129 (2016) 10–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.040>. [Diakses tanggal 14 November 2017]

Pavlov, dan G. Krasimirov. 2012. Thermal energy storage - A review of concepts and systems for heating and cooling applications in buildings: Part 1-Seasonal storage in the ground. *Journal of H V A C & R Research*. Vo.18, No.13, 515-538. [http://orbit.dtu.dk/en/publications/thermal-energy-storage--a-review-of-concepts-and-systems-for-heating-and-cooling-applications-in-buildings\(52dfb5a9-756c-464f-a143-b9a97dff73e2\).html](http://orbit.dtu.dk/en/publications/thermal-energy-storage--a-review-of-concepts-and-systems-for-heating-and-cooling-applications-in-buildings(52dfb5a9-756c-464f-a143-b9a97dff73e2).html). [Diakses pada tanggal 17 November 2017]

Pudjiastuti W. 2011. Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya. *Journal of Phase Change Materials and its Applications*. J. Kimia Kemasan, Vol. 33 No.1 April 2011: 118-123. [Diakses tanggal 14 November 2017]

Qiu S., M. Ruth, S. Ghosh. 2015. Evacuated tube collectors: A notable driver behind the solar water heater industry in China. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 47, July 2015, Pages 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.067>. [Diakses tanggal 14 November 2017]

Robert K., dkk. 2000. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*

- 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.
- Shafii, M. B., S. J. Mamouri, M.M. Lotfi dan H. J. Mosleh. 2016. A Modified Solar Desalination System Using Evacuated Tube Collector. *Journal of Desalination*. 396 (2016) 30–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.030>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Sharma A., V.V. Tyagi, C.R. Chen dan D. Buddhi. 2009. Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13 (2009) 318–345. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Sawhney R. L., dan U. Mahajan. 1994. Heating and cooling potential of an underground air-pipe system. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.4440180503>
- Sekar S., N. Putra, M. Amin, dan F. Afriyanti. 2016. The Utilization Of Paraffin And Beeswax As Heat Energy Storage In Infant Incubator. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11, No. 2
- Sholeha I. H. 2018. Pengaruh Konsentrator Parabolik Terhadap Efisiensi Kolektor Surya Dilengkapi Phase Change Materials (PCM). Skripsi
- Sobhansarbandi S., P. M. Martinez, A. Papadimitratos, A. Zakhidov dan F. Hassanipour. 2017. Evacuated Tube Solar Collector with Multifunctional Absorber Layers. *Journal of Solar Energy*. 146 (2017) 342–350. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.038>. [Diakses tanggal 14 November 2017]
- Sokhansefat T., A. Kasaeian, K. Rahmani, A. H. Heidari, F. Aghakhani dan O. Mahian. 2017. Thermoeconomic and Environmental Analysis of Solar Flat Plate and Evacuated Tube Collectors in Cold Climatic Conditions. *Journal of*

*Renewable Energy*. S0960-1481(17)30815-7. DOI: 10.1016/j.renene.2017.08.057. [Diakses tanggal 14 November 2017]

Stickler, dan Greg. 25 April 2016. Educational Brief - Solar Radiation and the Earth System. *National Aeronautics and Space Administration*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_irradiance#cite\\_ref-Stickler\\_2-0](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_irradiance#cite_ref-Stickler_2-0). [Diakses tanggal 14 November 2017]

Stoecker, W. F. & Jones, W. J., 1982. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. 2nd ed. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Timbers G. E., G. D. Robertson dan T. A. Gochnauer. 2015. Thermal Properties of Beeswax and Beeswax-Paraffin Mixtures. *Journal of Apicultural Research*. 16:1, 49-55. <http://dx.doi.org/10.1080/00218839.1977.11099860>. [Diakses tanggal 14 November 2017]

Tiwari G.N., T.T Chow, dan C. Menezo. 2012. Hybrid Solar: A Review on Photovoltaic and Thermal Power Integration. *International Journal of Photoenergy*. Vol. 2012, No. 17. doi:10.1155/2012/307287. [Diakses pada tanggal 14 November 2017]

Unggul, D. S dan B. A. Dwiyanoro. 2015. Pengaruh Sudut Kemiringan Kolektor Surya Pelat Datar terhadap Efisiensi Termal dengan Penambahan Eksternal Annular Fin pada Pipa. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN: 2337-3539. [Diakses tanggal 14 November 2017]

University of Gävle. Oktober 2007. *Solar Thermal Energy*. Energy Engineering Workshop.

Vogels T. P., K. Rajan, dan L.F. Abbott. 2005. Neural Network Dynamics. NCBI

Wiwik P. 2011. Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa Dan Aplikasinya. *Jurnal Kimia Kemasan*. Vol. 33 No.1 : 118-123. [https://www.researchgate.net/publication/315641021\\_Jenis-Jenis\\_Bahan\\_Berubah\\_Fasa\\_dan\\_Aplikasinya](https://www.researchgate.net/publication/315641021_Jenis-Jenis_Bahan_Berubah_Fasa_dan_Aplikasinya). [Diakses pada tanggal 17 November 2017]

Zalba B., dkk. 2003. Free cooling: an application of PCMs in TES. Presented at 6<sup>th</sup> Workshop of IEA ECES Annex 14, Lleida, Spain, 11<sup>th</sup> April 2003

**LAMPIRAN**

Lampiran 1. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 70% dan *Beewax* 30% dengan Laju Aliran Massa 0,008 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>cpcA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outA</sub> (°C)</b>
08.00	498,9	29,3	30,7	27,4	30,7
08.30	734,0	31,9	32,5	27,5	32,2
09.00	818,2	33,3	32,1	27,9	32,2
09.30	1011,4	36,0	33,0	28,0	32,3
10.00	1176,0	37,8	34,3	28,5	33,6
10.30	1147,1	38,5	36,3	28,9	34,4
11.00	1128,8	38,8	37,8	29,2	34,8
11.30	1157,2	37,3	36,2	29,2	35,1
12.00	1202,1	35,1	34,3	29,0	35,3
12.30	1144,1	36,8	35,7	29,1	35,4
13.00	1128,7	35,6	33,8	29,1	35,6
13.30	1066,4	36,9	34,8	29,1	35,5
14.00	887,1	35,9	33,9	29,8	35,1
14.30	733,0	35,1	33,5	29,7	34,5
15.00	617,0	34,6	33,2	30,2	33,5
15.30	520,2	32,9	32,2	29,1	32,6
16.00	447,8	30,8	31,2	28,5	31,5

Lampiran 2. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 30% dan *Beewax* 70% dengan Laju Aliran Massa 0,008 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>CpcB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outB</sub> (°C)</b>
08.00	498,9	30,1	31,0	27,4	30,7
08.30	734,0	35,1	32,9	27,5	32,1
09.00	818,2	36,1	32,6	27,9	31,9
09.30	1011,4	38,3	33,6	28,0	32,3
10.00	1176,0	40,4	34,9	28,5	33,0
10.30	1147,1	40,5	35,5	28,9	33,8
11.00	1128,8	41,5	37,2	29,2	34,6
11.30	1157,2	38,8	35,9	29,2	34,9
12.00	1202,1	36,2	33,8	29,0	35,0
12.30	1144,1	39,1	34,6	29,1	35,1
13.00	1128,7	36,1	32,8	29,1	35,2
13.30	1066,4	36,8	33,9	29,1	35,3
14.00	887,1	36,2	32,8	29,8	34,9
14.30	733,0	36,3	32,7	29,7	34,2
15.00	617,0	35,9	32,6	30,2	33,4
15.30	520,2	34,1	31,7	29,1	32,4
16.00	447,8	31,6	30,9	28,5	31,3

Lampiran 3. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 70% dan *Beewax* 30% dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>cpcA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outA</sub> (°C)</b>
08.00	557,3	33,3	30,0	27,2	31,6
08.30	923,3	35,1	32,3	27,4	33,7
09.00	1042,2	37,0	34,4	27,5	33,6
09.30	1158,9	38,3	35,7	27,8	34,0
10.00	1195,8	36,6	34,9	28,2	34,9
10.30	1203,5	36,7	35,9	28,4	36,3
11.00	1189,1	37,7	37,5	28,5	37,9
11.30	11166,1	38,1	37,7	28,7	39,2
12.00	1203,6	42,6	40,7	28,8	40,5
12.30	1139,8	41,1	37,6	28,5	41,8
13.00	1124,4	40,1	37,7	29,0	42,3
13.30	1117,6	39,5	37,0	29,3	42,2
14.00	995,9	38,7	35,9	29,2	42,0
14.30	825,1	38,6	36,0	29,5	40,6
15.00	675,9	35,1	34,0	29,8	39,1
15.30	597,1	37,3	36,5	29,2	37,2
16.00	500,3	32,1	33,7	28,5	35,6



Lampiran 4. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 30% dan *Beewax* 70% dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>CpcB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outB</sub> (°C)</b>
08.00	557,3	34,2	30,4	27,2	31,3
08.30	923,3	38,1	32,9	27,4	33,1
09.00	1042,2	39,5	34,7	27,5	33,1
09.30	1158,9	40,6	35,8	27,8	33,7
10.00	1195,8	38,8	35,0	28,2	34,2
10.30	1203,5	39,3	35,7	28,4	35,6
11.00	1189,1	40,7	37,3	28,5	36,8
11.30	11166,1	40,2	37,6	28,7	37,4
12.00	1203,6	43,4	39,7	28,8	37,8
12.30	1139,8	42,4	37,7	28,5	38,6
13.00	1124,4	41,2	36,4	29,0	39,9
13.30	1117,6	40,3	36,6	29,3	40,6
14.00	995,9	38,8	35,3	29,2	40,9
14.30	825,1	39,2	35,5	29,5	40,0
15.00	675,9	35,6	33,5	29,8	38,8
15.30	597,1	37,4	35,6	29,2	37,4
16.00	500,3	32,5	33,3	28,5	36,1

Lampiran 5. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 70% dan *Beewax* 30% dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>CpcA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsA</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outA</sub> (°C)</b>
08.00	556,8	33,9	33,0	27,2	32,2
08.30	868,1	36,4	37,0	27,4	36,7
09.00	1010,8	38,4	40,7	27,5	38,7
09.30	1088,3	41,3	43,6	27,8	42,3
10.00	1136,7	42,8	47,2	28,3	46,3
10.30	1141,6	43,6	51,2	28,5	30,0
11.00	1169,2	44,9	54,1	28,7	54,6
11.30	1159,0	44,3	52,6	29,1	55,7
12.00	1133,8	45,7	53,6	29,1	55,6
12.30	1116,7	46,0	52,9	29,4	55,4
13.00	1079,8	46,0	51,5	29,9	51,3
13.30	1082,6	45,3	50,5	29,2	48,8
14.00	1051,0	46,2	49,2	29,9	48,6
14.30	918,7	45,3	47,7	30,5	47,2
15.00	829,7	43,9	46,1	30,2	44,4
15.30	668,3	40,8	44,0	29,3	42,6
16.00	468,0	35,9	39,4	28,5	40,9

Lampiran 6. Tabel Data Kolektor dengan PCM Campuran *Paraffin* 30% dan *Beewax* 70% dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s

<b>Jam</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T<sub>CpcB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>AbsB</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>in</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>outB</sub> (°C)</b>
08.00	556,8	34,6	33,7	27,2	32,3
08.30	868,1	37,7	38,2	27,4	36,3
09.00	1010,8	38,7	40,9	27,5	37,6
09.30	1088,3	40,4	43,2	27,8	40,5
10.00	1136,7	41,8	45,9	28,3	43,8
10.30	1141,6	42,6	49,6	28,5	46,7
11.00	1169,2	43,7	53,0	28,7	52,7
11.30	1159,0	42,5	51,3	29,1	53,8
12.00	1133,8	43,2	51,6	29,1	53,3
12.30	1116,7	43,8	50,2	29,4	53,0
13.00	1079,8	57,9	48,9	29,9	52,4
13.30	1082,6	43,3	48,5	29,2	51,0
14.00	1051,0	43,1	47,2	29,9	49,5
14.30	918,7	41,7	45,0	30,5	48,2
15.00	829,7	39,6	43,1	30,2	46,1
15.30	668,3	37,2	42,0	29,3	43,7
16.00	468,0	33,6	38,0	28,5	42,3

## Lampiran 7. Perhitungan Laju Aliran Massa Fluida

## 1. Laju aliran massa 0,008 kg/s

Diketahui : waktu (s) = 24s  
 Volume (V) = 200ml =  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$   
 Massa jenis air ( $\rho$ ) =  $1000 \text{ kg/m}^3$

Ditanya : Laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) ?

Dijawab :  $\dot{m} = \frac{v \cdot \rho}{s}$   

$$\dot{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{28 \text{ s}}$$
  
 $\dot{m} = 0,0083 \text{ kg/s}$

## 2. Laju aliran massa 0,004 kg/s

Diketahui : Waktu (s) = 45s  
 Volume (V) = 200ml =  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$   
 Massa jenis air ( $\rho$ ) =  $1000 \text{ kg/s m}^3$

Ditanya : Laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) ?

Dijawab :  $\dot{m} = \frac{v \cdot \rho}{s}$   

$$\dot{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{45 \text{ s}}$$
  
 $\dot{m} = 0,0044$

## 3. Laju aliran massa 0,001 kg/s

Diketahui : Waktu (s) = 168 s  
 Vololume (V) = 200ml =  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$   
 Massa jenis air ( $\rho$ ) =  $1000 \text{ kg/m}^3$

Ditanya : Laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) ?

Dijawab :  $\dot{m} = \frac{v \cdot \rho}{s}$   

$$\dot{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{168 \text{ s}}$$
  
 $\dot{m} = 0,0011 \text{ kg/s}$

## Lampiran 8. Perhitungan Kalor yang Diserap Air

- a. Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.1.

Diketahui : Temperatur inlet air ( $T_{in}$ ) = 27,4 °C  
 Temperatur outlet air (  $T_{out A}$  ) = 30,74 °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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,008 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (30,7 - 27,4) C$   
 $Q_{air} = 109,94 W$

Diketahui : Temperatur inlet air ( $T_{in}$ ) = 27,47 °C  
 Temperatur outlet air (  $T_{out A}$  ) = 30,7 °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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,008 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (30,7 - 27,47) C$   
 $Q_{air} = 108,45 W$

- b. Perhitungan kalor yang diserap air pada laju aliran 0,004 kg/s

Diketahui : Temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) = 27,23 °C  
 Temperatur air keluar ( $T_{out A}$ ) = 31,64 °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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,006 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (31,64 - 27,23) C$   
 $Q_{air} = 74,10 W$

Diketahui : Temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) = 27,23 °C  
 Temperatur air keluar ( $T_{out A}$ ) = 31,37 °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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,006 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (31,64 - 27,23) C$   
 $Q_{air} = 69,62 W$

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

Diketahui : Temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) = 27,2 °C  
 Temperatur air keluar ( $T_{out A}$ ) = 32,2 °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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,001 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (32,2 - 27,2) C$   
 $Q_{air} = 20,97 W$

Diketahui : Temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) = 27,2 °C  
 Temperatur air keluar ( $T_{out A}$ ) = 32,61°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 :  $Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{out} - T_{in})$   
 $Q_{air} = 0,001 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (32,61 - 27,2) C$   
 $Q_{air} = 21,65 W$

## Lampiran 9. Kalor yang Diserap PCM

- a. Kalor yang diserap PCM kolektor A pada laju aliran massa 0,008 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,14175 kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,063909 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 j/kg°C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 j/kg°C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM A1}$ ) = 33,38 °C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM A0}$ ) = 31,44 °C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor A ( $Q_{PCM A}$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$

$$Q_{PCM} = (0,14175 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ j/kg} \cdot \text{°C}) + (0,063909 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ j/kg} \cdot \text{°C} \cdot (33,38\text{°C} - 31,44\text{°C}))$$

$$Q_{PCM} = 1219,40 \text{ j}$$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor A

Sehingga

$$Q_{PCM A} = \frac{Q_{PCM A}}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM A} = \frac{1219,409121 \text{ j}}{s}$$

$$Q_{PCM A} = 2,03 \text{ watt}$$

Kalor yang diserap PCM kolektor B pada laju aliran massa 0,008 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,06075kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,141921 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 j/kg°C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 j/kg°C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM B1}$ ) = 33,80°C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM B0}$ ) = 31,70 °C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor B ( $Q_{PCM B}$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$

$$Q_{PCM} = (0,06075 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) +$$

$$(0,149121 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (32,80^\circ\text{C} - 31,70^\circ\text{C}))$$

$$Q_{PCM} = 755,98 \text{ j}$$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor B

Sehingga

$$Q_{PCM}B = \frac{Q_{PCM}A}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM}B = \frac{703,32 \text{ j}}{1800 \text{ s}}$$

$$Q_{PCM}B = 1,25 \text{ watt}$$

b. Kalor yang diserap PCM kolektor A pada laju aliran massa 0,004 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,14175 kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,063909 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 J/kg $^\circ$ C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 J/kg $^\circ$ C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM}A_1$ ) = 33,16 $^\circ$ C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM}A_0$ ) = 31,98  $^\circ$ C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor A ( $Q_{PCM}A$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$

$$Q_{PCM} = (0,14175 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) +$$

$$(0,063909 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (33,16^\circ\text{C} - 31,98^\circ\text{C}))$$

$$Q_{PCM} = 738,98 \text{ j}$$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor A

Sehingga

$$Q_{PCM}A = \frac{Q_{PCM}A}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM}A = \frac{738,9828916 \text{ j}}{1800 \text{ s}}$$

$$Q_{PCM}A = 1,23 \text{ watt}$$



Kalor yang diserap PCM kolektor B pada laju aliran massa 0,004 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,06075kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,141921 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 j/kg°C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 j/kg°C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM A_1}$ ) = 32,49°C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM A_0}$ ) = 31,74°C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor A ( $Q_{PCM A}$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$   
 $Q_{PCM} = (0,06075 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ j/kg} \cdot \text{°C}) +$   
 $(0,149121 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ j/kg} \cdot \text{°C} \cdot (32,49\text{°C} - 31,74\text{°C}))$   
 $Q_{PCM} = 515,38 \text{ j}$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor B

Sehingga

$$Q_{PCM B} = \frac{Q_{PCM A}}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM B} = \frac{703,324215 \text{ j}}{1800 \text{ s}}$$

$$Q_{PCM B} = 0,85 \text{ watt}$$

c. Kalor yang diserap PCM kolektor A pada laju aliran massa 0,001 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,14175 kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,063909 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 j/kg°C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 j/kg°C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM A_1}$ ) = 36,22°C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM A_0}$ ) = 32,75°C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor A ( $Q_{PCM A}$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$

$$Q_{PCM} = (0,14175 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) +$$

$$(0,063909 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (36,22^\circ\text{C} - 32,75^\circ\text{C}))$$

$$Q_{PCM} = 2178,51 \text{ j}$$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor A

Sehingga

$$Q_{PCM A} = \frac{Q_{PCM A}}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM A} = \frac{2178,51 \text{ j}}{1800 \text{ s}}$$

$$Q_{PCM A} = 3,63 \text{ watt}$$

Kalor yang diserap PCM kolektor B pada laju aliran massa 0,001 kg/s

Diketahui : Massa paraffin pada 1 tabung ( $m_p$ ) = 0,06075kg  
 Massa beewax pada 1 tabung ( $m_b$ ) = 0,141921 kg  
 Kapasitas kalor parafin ( $C_p$ ) = 2890 j/kg $^\circ$ C  
 Kapasitas kalor beewax ( $C_b$ ) = 3430,88 j/kg $^\circ$ C  
 Temperatur PCM ( $T_{PCM A_1}$ ) = 34,73 $^\circ$ C  
 Temperatur awal PCM ( $T_{PCM A_0}$ ) = 32,37 $^\circ$ C

Ditanya : Kalor yang diserap PCM kolektor A ( $Q_{PCM A}$ ) ?

Dijawab :  $Q_p = (m_p C_p) + (m_b C_b) \cdot \Delta T$

$$Q_{PCM} = (0,06075 \text{ kg} \cdot 2890 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) +$$

$$(0,149121 \text{ kg} \cdot 3430 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (34,73^\circ\text{C} - 32,37^\circ\text{C}))$$

$$Q_{PCM} = 1618,69 \text{ j}$$

Kalor yang diserap PCM dihitung setiap setengah jam (30 menit) dan PCM diisi pada 3 tabung tembaga pada kolektor B

Sehingga

$$Q_{PCM B} = \frac{Q_{PCM A}}{1800 \text{ s}} n$$

$$Q_{PCM B} = \frac{1506,10 \text{ j}}{1800 \text{ s}}$$

$$Q_{PCM B} = 2,69 \text{ watt}$$

## Lampiran 10. Perhitungan Kalor Radiasi Langsung Matahari

- a. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 498,9 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan cover (A) = 0,157 m<sup>2</sup>

Jumlah cover (n) = 3 unit

Ditanya : Kalor radiasi langsung matahari (Q<sub>i</sub>) ?

Dijawab :  $Q_i = \frac{1}{2} I n A$

$$Q_i = \frac{1}{2} 498,9 \frac{W}{m^2} 3 \cdot 0,157 m^2$$

$$Q_i = 117,49 W$$

- b. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 557,3 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan cover (A) = 0,157 m<sup>2</sup>

Jumlah cover (n) = 3 unit

Ditanya : Kalor radiasi langsung matahari (Q<sub>i</sub>) ?

Dijawab :  $Q_i = \frac{1}{2} I n A$

$$Q_i = \frac{1}{2} 557,3 \frac{W}{m^2} 3 \cdot 0,157 m^2$$

$$Q_i = 131,26 W$$

- c. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 556,8 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan cover (A) = 0,157 m<sup>2</sup>

Jumlah cover (n) = 3 unit

Ditanya : Kalor radiasi langsung matahari (Q<sub>i</sub>) ?

Dijawab :  $Q_i = \frac{1}{2} I n A$

$$Q_i = \frac{1}{2} 556,8 \frac{W}{m^2} 3 \cdot 0,157 m^2$$

$$Q_i = 131,14 W$$

Lampiran 11. Kalor Radiasi Pantulan *Parabolic Concentrator*

- a. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,008 kg/s Pada kolektor A dan B

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 498,92 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan CPC (A) = 0,144 m<sup>2</sup>

Reflektivitas *Stainlesssteel* ( $\rho$ ) = 0,82

Jumlah CPC (n) = 3

Ditanya : Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{ip} = I n A \rho$

$$Q_{ip} = 498,92 \text{ W/m}^2 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,82 \cdot 3$$

$$Q_{ip} = 176,73 W$$

- b. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,004 kg/s Pada kolektor A dan B

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 557,39 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan CPC (A) = 0,144 m<sup>2</sup>

Reflektivitas *Stainlesssteel* ( $\rho$ ) = 0,82

Jumlah CPC (n) = 3

Ditanya : Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{ip} = I n A \rho$

$$Q_{ip} = 557,39 \text{ W/m}^2 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,82 \cdot 3$$

$$Q_{ip} = 197,44 W$$

- c. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,001 kg/s Pada kolektor A dan B

Diketahui : Intensitas radiasi matahari (I) = 556,86 W/m<sup>2</sup>

$$\text{Luas permukaan CPC (A)} = 0,144 \text{ m}^2$$

$$\text{Reflektivitas Stainlesssteel } (\rho) = 0,82$$

$$\text{Jumlah CPC (n)} = 3$$

Ditanya : Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ ) ?

$$\text{Dijawab : } Q_{ip} = I n A \rho$$

$$Q_{ip} = 556,86 \text{ W/m}^2 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,82 \cdot 3$$

$$Q_{ip} = 197,26 \text{ W}$$

#### Lampiran 12. Kalor Radiasi Pancaran *Parabolic Concentrator*

- a. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.4.

$$\text{Diketahui : Temperatur CPC (T}_{CPC}) = 29,3^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur outlet air (T}_{Out}) = 30,7^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur inlet air (T}_{in}) = 27,4^\circ\text{C}$$

$$\text{Luas permukaan CPC (A)} = 0,144 \text{ m}^2$$

$$\text{Konstanta Boltzman } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$$

$$\text{Emisivitas Stainlesssteel } (\varepsilon) = 0,074$$

Ditanya : Kalor radiasi pancaran CPC ( $Q_b$ ) ?

$$\text{Dijawab : } Q_b = \varepsilon \sigma A (T_{CPC}^4 - \left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2}\right)^4)$$

$$Q_b = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{mK}^4} \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,074 \left( 29,3^4 - \left( \frac{30,7 + 29,3}{2} \right)^4 \right)$$

$$Q_b = 0,013 \text{ W}$$

- b. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.4.

$$\text{Diketahui : Temperatur CPC (T}_{CPC}) = 33,3^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur outlet air (T}_{Out}) = 31,6^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur inlet air (T}_{in}) = 27,2^\circ\text{C}$$

$$\text{Luas permukaan CPC (A)} = 0,144 \text{ m}^2$$

$$\text{Konstanta Boltzman } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$$

$$\text{Emisivitas Stainlesssteel } (\varepsilon) = 0,074$$

Ditanya : Kalor radiasi pancaran CPC ( $Q_b$ ) ?

$$\text{Dijawab : } Q_b = \varepsilon \sigma A (T_{CPC}^4 - (\frac{T_{in} + T_{out}}{2})^4)$$

$$Q_b = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} 0,144 m^2 \cdot 0,074 \left( 33,3^4 - \left( \frac{31,6 + 27,2}{2} \right)^4 \right)$$

$$Q_b = 0,26 W$$

- c. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B dengan menggunakan persamaan 3.4.

$$\text{Diketahui : Temperatur CPC } (T_{CPC}) = 33,9^\circ C$$

$$\text{Temperatur outlet air } (T_{out}) = 32,2^\circ C$$

$$\text{Temperatur inlet air } (T_{in}) = 27,2^\circ C$$

$$\text{Luas permukaan CPC } (A) = 0,144 m^2$$

$$\text{Konstanta Boltzman } (\sigma) = 5,67 \times 10^{-8} W/mK^4$$

$$\text{Emisivitas Stainlesssteel } (\varepsilon) = 0,074$$

Ditanya : Kalor radiasi pancaran CPC ( $Q_b$ ) ?

$$\text{Dijawab : } Q_b = \varepsilon \sigma A (T_{CPC}^4 - (\frac{T_{in} + T_{out}}{2})^4)$$

$$Q_b = 5,67 \frac{W}{mK^4} 0,144 m^2 \cdot 0,074 \left( 33,9^4 - \left( \frac{32,2 + 27,2}{2} \right)^4 \right)$$

$$Q_b = 0,94 W$$

### Lampiran 13. Kalor Radiasi Langsung yang Diserap Absorber

- a. Kalor radiasi langsung yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

$$\text{Diketahui : Intensitas matahari } (I) = 498,92 W/m^2$$

$$\text{Luas permukaan absorber } (A_{abs}) = 0,0053 m^2$$

$$\text{Jumlah kolektor } (n) = 3 \text{ unit}$$

Ditanya : Kalor radiasi langsung ( $Q_{i abs}$ ) ?

$$\text{Dijawab : } Q_{i abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs}$$

$$Q_{i abs} = \frac{1}{2} 498,92 \frac{W}{m^2} 0,053 m^2 \cdot 3$$

$$Q_{i abs} = 39,66 W$$

- b. Kalor radiasi langsung yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} & : \text{Intensitas matahari (I)} & = 557,39 \text{ W/m}^2 \\ & \text{Luas permukaan absorber (A}_{\text{abs}}) & = 0,053 \text{ m}^2 \\ & \text{Jumlah kolektor (n)} & = 3 \text{ unit} \end{aligned}$$

Ditanya : Kalor radiasi langsung ( $Q_{i \text{ abs}}$ ) ?

$$\text{Dijawab} : Q_{i \text{ abs}} = \frac{1}{2} I n A_{\text{abs}}$$

$$Q_{i \text{ abs}} = \frac{1}{2} 557,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} 0,053 \text{ m}^2 \cdot 3$$

$$Q_{i \text{ abs}} = 44,31 \text{ W}$$

- c. Kalor radiasi langsung yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} & : \text{Intensitas matahari (I)} & = 556,86 \text{ W/m}^2 \\ & \text{Luas permukaan absorber (A}_{\text{abs}}) & = 0,053 \text{ m}^2 \\ & \text{Jumlah kolektor (n)} & = 3 \text{ unit} \end{aligned}$$

Ditanya : Kalor radiasi langsung ( $Q_{i \text{ abs}}$ ) ?

$$\text{Dijawab} : Q_{i \text{ abs}} = \frac{1}{2} I n A_{\text{abs}}$$

$$Q_{i \text{ abs}} = \frac{1}{2} 556,86 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} 0,053 \text{ m}^2 \cdot 3$$

$$Q_{i \text{ abs}} = 44,27 \text{ W}$$

#### Lampiran 14. Kalor Radiasi Pantulan *Parabolic Concentrator* yang Diserap Absorber

- a. Kalor Radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap Absorber pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} & : \text{Intensitas matahari (I)} & = 498,92 \text{ W/m}^2 \\ & \text{Luas permukaan absorber (A}_{\text{abs}}) & = 0,053 \text{ m}^2 \\ & \text{Reflektivitas } \textit{Stainlesssteel} (\rho) & = 0,82 \\ & \text{Jumlah kolektor (n)} & = 3 \text{ unit} \end{aligned}$$

Ditanya : Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$

$$Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} 498,92 \frac{W}{m^2} 0,053m^2 \cdot 3$$

$$Q_{i\ abs} = 32,53 W$$

- b. Kalor Radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap Absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui : Intensitas matahari (I) = 557,39 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan absorber ( $A_{abs}$ ) = 0,053 m<sup>2</sup>

Reflektivitas *Stainlesssteel* ( $\rho$ ) = 0,82

Jumlah kolektor (n) = 3 unit

Ditanya : Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$

$$Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} 557,39 \frac{W}{m^2} 0,053m^2 \cdot 3$$

$$Q_{i\ abs} = 36,33 W$$

- c. Kalor Radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap Absorber pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui : Intensitas matahari (I) = 556,86 W/m<sup>2</sup>

Luas permukaan absorber ( $A_{abs}$ ) = 0,053 m<sup>2</sup>

Reflektivitas *Stainlesssteel* ( $\rho$ ) = 0,82

Jumlah kolektor (n) = 3 unit

Ditanya : Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$

$$Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} 556,86 \frac{W}{m^2} 0,053m^2 \cdot 3$$

$$Q_{i\ abs} = 36,30 W$$



Lampiran 15. Kalor Radiasi Emisi *Parabolic Concentrator* yang Diserab absorber

- a. Kalor radiasi emisi yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui : Temperatur CPC ( $T_{CPC}$ ) = 29,7°C  
 Temperatur absorber ( $T_{abs}$ ) = 30,8°C  
 Emisivitas *Stainlesssteel* ( $\epsilon$ ) = 0,074  
 Konstanta Boltzman ( $\sigma$ ) = 5,67 x 10<sup>-8</sup> W/mK<sup>4</sup>

Ditanya : Kalor emisi CPC yang diserap absorber ( $Q_{b\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{b\ abs} = \epsilon \sigma A_{abs}(T_c^4 - T_{abs}^4)$

$$Q_{b\ abs} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,074 (29,7^4 - 30,8^4)$$

$$Q_{b\ abs} = -0,02 \text{ W}$$

- b. Kalor radiasi emisi yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui : Temperatur CPC ( $T_{CPC}$ ) = 33,7°C  
 Temperatur absorber ( $T_{abs}$ ) = 30,2°C  
 Emisivitas *Stainlesssteel* ( $\epsilon$ ) = 0,074  
 Konstanta Boltzman ( $\sigma$ ) = 5,67 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>

Ditanya : Kalor emisi CPC yang diserap absorber ( $Q_{b\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{b\ abs} = \epsilon \sigma A_{abs}(T_c^4 - T_{abs}^4)$

$$Q_{b\ abs} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,074 (33,7^4 - 30,2^4)$$

$$Q_{b\ abs} = 0,08 \text{ W}$$

- c. Kalor radiasi emisi yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui : Temperatur CPC ( $T_{CPC}$ ) = 34,3°C  
 Temperatur absorber ( $T_{abs}$ ) = 33,3°C  
 Emisivitas *Stainlesssteel* ( $\epsilon$ ) = 0,074  
 Konstanta Boltzman ( $\sigma$ ) = 5,67 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>

Ditanya : Kalor emisi CPC yang diserap absorber ( $Q_{b\ abs}$ ) ?

Dijawab :  $Q_{b\ abs} = \epsilon \sigma A_{abs}(T_c^4 - T_{abs}^4)$

$$Q_{b\ abs} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,074 (343^4 - 33,3^4)$$

$$Q_{b\ abs} = 0,02 \text{ W}$$

Lampiran 16. Efisiensi Pemanas Air Tenaga Surya

- a. Efisiensi Pemanas air tenaga surya pada laju aliran massa 0,008 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.8

Diketahui	: Kalor yang diserap air ( $Q_{air}$ )	= 109,94 W
	Kalor radiasi langsung matahari ( $Q_i$ )	= 117,49W
	Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ )	= 176,73W
	Kalor radiasi emisi pancaran CPC ( $Q_b$ )	= 0,013W
	Kalor langsung yang diserap ( $Q_{i\ abs}$ )	= 39,66W
	Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ )	= 32,53W
	Kalor emisi CPC yang diserap ( $Q_{b\ abs}$ )	= -0,02W

Ditanya : Efisiensi pemanas air tenaga surya ( $\eta$ )?

Dijawab :  $\eta = \frac{Q_{air}}{(Q_i + Q_{ip} + Q_b) - (Q_{i\ abs} + Q_{ip\ abs} + Q_{b\ abs})} \times 100\%$

$$\eta = \frac{109,94}{(117,49 + 176,73 + 0,013) - (39,66 + 32,53 - 0,02)} \times 100\%$$

$$\eta = 49,5 \%$$

- b. Efisiensi Pemanas air tenaga surya pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.8

Diketahui	: Kalor yang diserap air ( $Q_{air}$ )	= 74,10W
	Kalor radiasi langsung matahari ( $Q_i$ )	= 131,26W
	Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ )	= 197,44W
	Kalor radiasi emisi pancaran CPC ( $Q_b$ )	= 0,26W
	Kalor langsung yang diserap ( $Q_{i\ abs}$ )	= 44,31W
	Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ )	= 36,33W
	Kalor emisi CPC yang diserap ( $Q_{b\ abs}$ )	= 0,080W

Ditanya : Efisiensi pemanas air tenaga surya ( $\eta$ )?

Dijawab :  $\eta = \frac{Q_{air}}{(Q_i + Q_{ip} + Q_b) - (Q_{i\ abs} + Q_{ip\ abs} + Q_{b\ abs})} \times 100\%$

$$\eta = \frac{74,10}{(131,26 + 197,44 + 0,26) - (44,31 + 36,33 + 0,08)} \times 100\%$$

$$\eta = 29,8 \%$$

- c. Efisiensi Pemanas air tenaga surya pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.8

Diketahui	: Kalor yang diserap air ( $Q_{air}$ )	= 20,97W
	Kalor radiasi langsung matahari ( $Q_i$ )	= 131,14W
	Kalor radiasi pantulan CPC ( $Q_{ip}$ )	= 197,26W
	Kalor radiasi emisi pancaran CPC ( $Q_b$ )	= 0,94W
	Kalor langsung yang diserap ( $Q_{i\ abs}$ )	= 44,27W
	Kalor pantulan CPC yang diserap ( $Q_{ip\ abs}$ )	= 36,3W
	Kalor emisi CPC yang diserap ( $Q_{b\ abs}$ )	= 0,02W

Ditanya : Efisiensi pemanas air tenaga surya ( $\eta$ )?

Dijawab :  $\eta = \frac{Q_{air}}{(Q_i + Q_{ip} + Q_b) - (Q_{i\ abs} + Q_{ip\ abs} + Q_{b\ abs})} \times 100\%$

$$\eta = \frac{20,97}{(131,14 + 197,26 + 0,94) - (44,27 + 36,3 + 0,02)} \times 100\%$$

$$\eta = 8,45 \%$$

Lampiran 17. Dokumentasi Bahan Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya



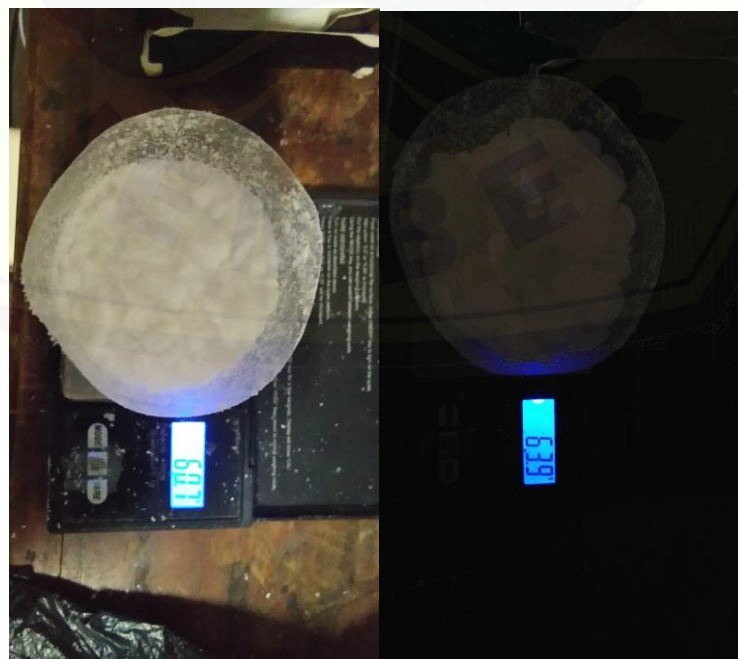
Lampiran 18. Dokumentasi Alat Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya



Lampiran 19. Dokumentasi Pembuatan Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya



Lampiran 20. Dokumentasi pengukuran massa paraffin dan beewax



Lampiran 21. Dokumentasi Pembuatan PCM campuran

Lampiran 22. Dokumentasi Alat Pengambilan data menggunakan *solar power meter*

Lampiran 23. Dokumentasi Pengujian Laju Aliran Massa



Lampiran 24. Dokumentasi Pengambilan Data Pemanas Air Tenaga Surya

