



**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR TABUNG PEMANAS AIR  
MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM)  
DENGAN DAN TANPA REFLEKTOR**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Khamdan Khavivi**

**151910101072**

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



**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR TABUNG PEMANAS AIR  
MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM)  
DENGAN DAN TANPA REFLEKTOR**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**Khamdan Khavivi**

**151910101072**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT. maka skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik
2. Kedua orang tua saya yakni Alm. Suroso dan Sulastri dan kakak saya Ratri Fatimah yang telah memberikan dan mengajarkan segalanya serta mendukung saya hingga saat ini
3. Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan wawasan, ilmu, serta pengalaman baik di dalam maupun diluar perkuliahan.
4. Keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2015 yang senantiasa menjadi teman, sahabat, dan saudara.

**MOTTO**

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya  
bersama kesulitan itu ada kemudahan (QS. Al-Insyirah: 5-6)

Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya  
(QS. Al-Baqarah: 286)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khamdan Khavivi

NIM : 151910101072

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Performa Kolektor Tabung Pemanas Air Menggunakan *Phase Change Material* (PCM) dengan dan tanpa Reflektor” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 Maret 2019

Yang menyatakan,

Khamdan Khavivi

151910101072

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR TABUNG PEMANAS AIR  
MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM)  
DENGAN DAN TANPA REFLEKTOR**

Oleh:

**Khamdan Khavivi**

**151910101072**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Performa Kolektor Tabung Pemanas Air Menggunakan *Phase Change Material* (PCM) dengan dan tanpa Reflektor” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Senin, 25 Maret 2019

Tempat : Ruang Ujian II Lantai III Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Utama,

Anggota,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP 19700322 199501 1 001

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

Penguji

Utama,

Anggota,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.  
NIP 19681205 199702 1 002

Dr. R. Koekoeh K. W., S.T., M. Eng.  
NIP 19670708 199412 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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



## RINGKASAN

**Analisis Performa Kolektor Tabung Pemanas Air Menggunakan *Phase Change Material* (PCM) dengan dan tanpa Reflektor;** Khamdan Khavivi, 151910101072; 2019; 50 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Peningkatan permintaan energi dunia dan penipisan bahan bakar fosil mengharuskan pengembangan teknologi berdasarkan sumber energi terbarukan (Mehrali dkk., 2016). Salah satu contoh dari energi terbarukan adalah energi matahari yang berasal dari matahari untuk pemanas air. Radiasi matahari jatuh pada kolektor matahari, kolektor tersebut menyerap panas dan panasnya digunakan sebagai sumber pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dan industri.

Penelitian ini dilakukan dengan cara memanaskan kolektor tabung dengan lampu yang dilengkapi dengan reflektor dan tanpa reflektor. Reflektor berbentuk U dan bahan reflektor yaitu *stainless steel*. Proses *charging* dilakukan selama empat jam dengan tiga lampu yang memiliki daya total 3000 Watt dengan radiasi yang dihasilkan yaitu 407 sampai 525 W/m<sup>2</sup> sebagai pengganti cahaya matahari, setelah proses *charging* dilakukan proses *discharging* selama empat jam juga.

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa titik leleh *Phase Change Material* (PCM) menggunakan reflektor lebih cepat daripada tanpa reflektor pada debit air 0,48 l/menit ketika suhu PCM tertinggi yaitu menit ke 100 dan menit ke 200 telah mencapai titik leleh dari PCM. Titik leleh PCM (parafin 70% dan minyak goreng 30%) yaitu pada suhu 48 °C. Semakin kecil debit air maka suhu keluar pipa air akan semakin besar ketika proses *charging*, terdapat tiga debit air yaitu 0,48 l/menit; 0,59 l/menit; dan 1,82 l/menit. Sedangkan efisiensi kolektor tabung ketika *charging* tertinggi pada saat debit air 1,82 l/menit dimana performa kolektor maksimum dengan reflektor adalah 76,80 % dan tanpa



reflektor adalah 69,70 %. Hal ini menunjukkan bahwa adanya reflektor mampu meningkatkan suhu PCM dan efisiensi kolektor tabung ketika *charging*.



## SUMMARY

**Water Heater Tube Collector Performance Analysis Using Phase Change Material (PCM) with and without Reflector;** Khamdan Khavivi, 151910101072; 2019; 50 pages; S1 Mechanical Engineering Study Program, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

Increasing world energy demand and depletion of fossil fuels require the development of technologies based on renewable energy sources (Mehrali et al., 2016). One example of renewable energy is solar energy derived from the sun for water heaters. Solar radiation falls on the sun collector, the collector absorbs heat and its heat is used as a source of water heaters for household and industrial.

This research was conducted by heating the tube collector with a lamp with a reflector and without reflector. Reflector had U-shaped and reflector material, namely stainless steel. The charging process is carried out for four hours with three lights that have a total power of 3000 Watt with the radiation produced which is 407 to 525 W/m<sup>2</sup> instead of sunlight, after the charging process the discharging process is carried out for four hours as well.

The conclusions of this study indicate that the melting point of Phase Change Material (PCM) used a reflector faster than without a reflector at 0.48 l/minute water when the highest PCM temperature is 100 minutes and 200 minutes reaches the melting point of PCM. The melting point of PCM (70 % paraffin and 30 % cooking oil) is a temperature of 48 °C. The smaller the water flow, the exit temperature of the water pipe will be greater when the charging process, there are three water discharge that is 0.48 l/minute; 0.59 l/minute; and 1.82 l/minute. While the efficiency of the tube collector when charging the highest at the time of water flow 1.82 l/minute where the maximum collector performance with the reflector is 76.8 % and without the reflector is 69.7 %. This indicates that

the presence of a reflector can increase the PCM temperature and efficiency of the tube collector when charging.



## PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Performa Kolektor Tabung Pemanas Air Menggunakan *Phase Change Material* (PCM) dengan dan tanpa Reflektor”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

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

1. Dr. Ir. Entin Hidayah M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama;
5. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Anggota;
6. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Dosen Penguji Utama;
7. Bapak Dr. R. Koekoeh K. W., S.T., M. Eng., selaku Dosen Penguji Anggota
8. Ibu Hery Indria Dwi P., S.Si.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
9. Ayah, Ibu, dan Kakak yang telah memberikan dukungan;
10. M. Farobi Tsani, Veni Dwi Sulastri, Bella Nurfadhilah, dan M. Arief Wibowo yang telah menjadi kelompok riset sekaligus motivator saya.

Jember, 20 Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat</b> .....	3
1.3.1 Tujuan .....	3
1.3.2 Manfaat .....	4
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Pemanas Air Surya</b> .....	5
2.1.1 Sistem Aktif .....	5
2.1.2 Sistem Pasif.....	6
<b>2.2 Kolektor Surya</b> .....	7
2.2.1 Kolektor Plat Datar .....	7
2.2.2 Kolektor Parabolik.....	8
2.2.3 Kolektor Tabung Vakum (KTV) .....	9
<b>2.4 Phase Change Material (PCM)</b> .....	11

<b>2.3</b>	<b>Konsentrator Parabolik</b> .....	10
<b>2.4</b>	<b>Phase Change Material (PCM)</b> .....	11
<b>2.5</b>	<b>Perpindahan Panas</b> .....	12
	2.5.1 Konduksi .....	12
	2.5.2 Konveksi .....	15
	2.5.3 Radiasi .....	15
<b>2.6</b>	<b>Asas Black</b> .....	16
<b>2.7</b>	<b>Perhitungan Laju Aliran Massa</b> .....	17
<b>2.8</b>	<b>Laju Panas Yang Diserap</b> .....	17
<b>2.9</b>	<b>Efisiensi Kolektor</b> .....	18
<b>2.10</b>	<b>Hipotesis</b> .....	18
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Metode Penelitian</b> .....	19
<b>3.2</b>	<b>Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	19
	3.2.1 Waktu Penelitian.....	19
	3.2.2 Tempat Penelitian .....	20
<b>3.3</b>	<b>Alat dan Bahan</b> .....	20
	3.3.1 Pembuatan Kolektor Tabung .....	20
	3.3.2 Pembuatan Pemanas Air .....	22
<b>3.4</b>	<b>Variabel Penelitian</b> .....	23
	3.4.1 Variabel Bebas .....	23
	3.4.2 Variabel Terikat .....	23
	3.4.3 Variabel Kontrol .....	23
<b>3.5</b>	<b>Pengambilan Data</b> .....	24
<b>3.6</b>	<b>Tahap-Tahap Penelitian</b> .....	25
	3.6.1 Tahap Persiapan .....	25
	3.6.2 Tahap Penelitian .....	25
<b>3.7</b>	<b>Desain Alat</b> .....	26
<b>3.8</b>	<b>Diagram Alir Penelitian</b> .....	28
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
<b>4.1</b>	<b>Rancangan Alat</b> .....	29
<b>4.2</b>	<b>Data Hasil Penelitian</b> .....	30
	4.2.1 Suhu Saat Proses <i>Charging</i> .....	30

4.2.2 Suhu Saat Proses <i>Discharging</i> .....	32
<b>4.3 Pembahasan Penelitian</b> .....	<b>33</b>
4.3.1 Suhu Air Keluar <i>Charging</i> .....	34
4.3.2 Suhu <i>Phase Change Material (PCM) Charging</i> .....	35
4.3.3 Selisih Suhu Air Keluar-Masuk.....	37
4.3.4 Efisiensi Kolektor Tabung Saat <i>Charging</i> .....	40
4.3.5 Suhu Air Keluar <i>Discharging</i> .....	43
4.3.6 Suhu <i>Phase Change Material (PCM) Discharging</i> .....	45
4.3.7 Efisiensi Kolektor Tabung <i>Discharging</i> .....	46
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....	<b>55</b>



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Sistem pemanas air surya .....	5
Gambar 2.2 Sistem pemanas air surya aktif.....	6
Gambar 2.3 Sistem pemanas air surya pasif .....	7
Gambar 2.4 Kolektor plat datar.....	8
Gambar 2.5 Kolektor parabolik.....	9
Gambar 2.6 Kolektor tabung vakum.....	9
Gambar 2.7 Prinsip konversi energi termal surya.....	10
Gambar 2.8 Konsentrator parabolik.....	11
Gambar 2.9 Contoh PCM parafin .....	12
Gambar 2.10 Sketsa arah aliran panas .....	14
Gambar 2.11 Peristiwa konveksi.....	15
Gambar 3.1 Kolektor tabung.....	20
Gambar 3.2 Dimensi kolektor tabung .....	21
Gambar 3.3 Rencana desain alat pemanas air tenaga surya.....	22
Gambar 3.4 Desain kolektor tabung menggunakan PCM.....	26
Gambar 3.5 Penampang kolektor tabung .....	26
Gambar 3.6 Peletakkan termokopel pada alat pemanas air.....	27
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 4.1 Kondisi kolektor saat proses <i>charging</i> .....	29
Gambar 4.2 Kondisi kolektor saat proses <i>discharging</i> .....	30
Gambar 4.3 Suhu air keluar <i>charging</i> .....	34
Gambar 4.4 Suhu PCM proses <i>charging</i> .....	36
Gambar 4.5 Selisih suhu air keluar dan masuk <i>charging</i> .....	39
Gambar 4.6 Efisiensi kolektor <i>charging</i> .....	42
Gambar 4.7 Suhu air keluar <i>discharging</i> .....	44
Gambar 4.8 Suhu PCM <i>discharging</i> .....	45
Gambar 4.9 Efisiensi kolektor <i>discharging</i> ketika debit air 0,48 l/menit.....	49

Gambar 4.10 Efisiensi kolektor *discharging* ketika debit air 0,59 l/menit .....49

Gambar 4.11 Efisiensi kolektor *discharging* ketika debit air 1,82 l/menit .....50



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Nilai reflektansi dari berbagai material.....	10
Tabel 2.2 Konduktivitas termal berbagai material.....	14
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan.....	19
Tabel 3.2 Pengambilan data pada kolektor tabung saat proses <i>charging</i> .....	24
Tabel 3.3 Pengambilan data pada kolektor tabung saat proses <i>discharging</i> .....	25
Tabel 4.1 Suhu saat proses <i>charging</i> (0,48 l/menit) .....	31
Tabel 4.2 Suhu saat proses <i>charging</i> (0,59 l/menit).....	31
Tabel 4.3 Suhu saat proses <i>charging</i> (1,82 l/menit).....	32
Tabel 4.4 Suhu saat proses <i>discharging</i> (0,48 l/menit).....	32
Tabel 4.5 Suhu saat proses <i>discharging</i> (0,59 l/menit).....	33
Tabel 4.6 Suhu saat proses <i>discharging</i> (1,82 l/menit).....	33
Tabel 4.7 Selisih suhu air keluar dan masuk <i>charging</i> (0,48 l/menit) .....	37
Tabel 4.8 Selisih suhu air keluar dan masuk <i>charging</i> (0,59 l/menit) .....	38
Tabel 4.9 Selisih suhu air keluar dan masuk <i>charging</i> (1,82 l/menit) .....	38
Tabel 4.10 Efisiensi kolektor tabung pada saat <i>charging</i> (0,48 l/menit).....	41
Tabel 4.11 Efisiensi kolektor tabung pada saat <i>charging</i> (0,59 l/menit).....	41
Tabel 4.12 Efisiensi kolektor tabung pada saat <i>charging</i> (1,82 l/menit).....	42
Tabel 4.13 Efisiensi kolektor saat <i>discharging</i> (0,48 l/menit).....	47
Tabel 4.14 Efisiensi kolektor saat <i>discharging</i> (0,59 l/menit).....	48
Tabel 4.15 Efisiensi kolektor saat <i>discharging</i> (1,82 l/menit).....	48

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan merupakan bentuk energi yang sangat dibutuhkan karena tidak akan habis dan tersedia sepanjang masa (Hamdi, 2016). Energi terbarukan akan semakin mempunyai peran dan fungsi penting di masa depan dalam memenuhi kebutuhan energi untuk kehidupan sehari-hari. Peningkatan permintaan energi dunia dan penipisan bahan bakar fosil mengharuskan pengembangan teknologi berdasarkan sumber energi terbarukan (Mehrali dkk., 2016). Salah satu contoh dari energi terbarukan adalah energi matahari yang berasal dari matahari untuk pemanas air. Radiasi matahari jatuh pada kolektor matahari, kolektor tersebut menyerap panas dan panasnya digunakan sebagai sumber pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dan industri.

Indonesia memiliki potensi energi matahari yang besar karena terletak di daerah ekuator ( $11^{\circ}$  LS- $6^{\circ}$  LU dan  $95^{\circ}$  BT- $141^{\circ}$  BB). Indonesia berada di daerah ekuator menyebabkan Indonesia memiliki nilai surplus sinar matahari karena mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun (Tjasyono, 2012). Namun potensi energi matahari tersebut belum dimanfaatkan secara optimal khususnya untuk kebutuhan di rumah tangga melalui media kolektor matahari. Salah satu penyebabnya yaitu terdapat asumsi masyarakat bahwa penggunaan dari kolektor sebagai alat yang memiliki fungsi untuk mengubah energi matahari merupakan barang mewah berteknologi tinggi dan harganya mahal. Pemahaman tersebut tentu tidak sepenuhnya benar, karena terdapat faktor lain yang perlu dipertimbangkan untuk jangka panjang. Hal menarik yang perlu dikaji lebih mendalam yaitu bagaimana mendapatkan kolektor sebagai pemanas air untuk skala rumah tangga dengan biaya murah sehingga dapat mengurangi penggunaan dari bahan bakar minyak.

Kolektor matahari menyerap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi panas melalui media transfer. Kolektor matahari dibagi menjadi tiga jenis kolektor berdasarkan dimensi dan geometri dari *receiver* yang digunakan yaitu kolektor plat

datar, tabung vakum, dan parabolik (Darwin dkk., 2015). Tiga jenis kolektor tersebut dibedakan juga karena kisaran suhu yang diperoleh, untuk plat datar berkisar 30-80 °C, parabolik 60-240 °C, dan tabung vakum 50-200 °C (Kalogirou, 2004). Salah satu keuntungan dari kolektor matahari tabung vakum adalah tidak terpengaruh terhadap arah sinar matahari, sementara kolektor plat datar dan parabolik dapat melepas refleksi tambahan jika arah sinar matahari tidak sesuai. Kolektor tabung vakum juga memiliki insulasi termal yang lebih baik dan pengurangan kerugian panas (konduksi dan konveksi) dalam sistem dibandingkan dengan kolektor plat datar dan parabolik (Papadimitratos, 2016).

Penggunaan kolektor tabung vakum (KTV) dengan konsentrator parabola majemuk (KPM) dapat meningkatkan kinerja pemanas air matahari dengan mengurangi kehilangan panas. KPM memiliki peran penting dalam aplikasi suhu rendah, sebagian besar radiasi sinar dapat dikumpulkan dan tercermin pada permukaan absorber (Kessentini dkk., 2013). Beberapa penelitian dari kolektor matahari dengan KPM telah dilakukan yaitu sebagai berikut. Buttinger dkk. (2010) mengembangkan konsentrator parabola majemuk (KPM) untuk proses aplikasi panas terintegrasi dengan satu tabung penyerap dan reflektor di dalam plat datar kaca bertekanan rendah. Mereka memperkirakan efisiensi kolektor sebesar 50 %, 40 %, dan 14 % dengan tekanan masing-masing 0,01 bar kripton, 0,01 bar udara, dan 1 bar udara dalam keadaan  $\Delta T = 130$  °C dan  $I = 1000$  W/m<sup>2</sup>. Penelitian Mishra dkk. (2017) membahas pemodelan termal dari kolektor tabung vakum (KTV) terintegrasi dengan konsentrator parabola majemuk (KPM). Kolektor tabung vakum berjumlah enam dihubungkan secara seri tanpa dan dengan konsentrator. Hasilnya, penambahan KPM dalam penelitian tersebut meningkatkan suhu air keluar dari 41 °C menjadi 48 °C; energi panas tahunan dari 1.461,63 kWh menjadi 1.859,66 kWh; dan exergi tahunan dari 137,5 kWh menjadi 165,9 kWh.

Performa kolektor tabung dapat ditingkatkan dengan menambahkan *Phase Change Material* (PCM) untuk menjaga dan menahan laju pelepasan panas. PCM adalah material yang mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) dimana struktur atau susunan kimianya tidak mengalami



perubahan. PCM dapat mencair dan memadat pada suhu tertentu. Panas yang diserap atau dilepaskan ketika perubahan material dari padat menjadi cair ataupun sebaliknya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keuntungan dari PCM adalah kepadatan penyimpanan panas tinggi, kapasitas penyimpanan panas laten besar, biaya murah, dan stabilitas kimia yang sangat baik (Khan, 2016). Penelitian Vanhas dkk. (2017) menggunakan persentase campuran 0 %, 30 %, 40 %, 50 % minyak goreng dengan PCM parafin, dihasilkan proses pencairan menyeluruh dengan suhu 48 °C; 53,8 °C; 55,4 °C; 57,7 °C dalam waktu 25 menit dan proses pendinginan dihasilkan suhu 37,3 °C; 36 °C; 33,3 °C; 32 °C dalam waktu 120 menit.

Jadi, berdasarkan penelitian-penelitian yang dijelaskan di atas dapat dilakukan pengembangan penelitian selanjutnya yaitu menganalisis performa kolektor tabung pemanas air menggunakan Phase Change Material (PCM) dengan dan tanpa reflektor. PCM yang digunakan adalah campuran 30 % minyak goreng dan 70 % paraffin dan reflektor menggunakan plat *stainless*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik penyimpanan termal menggunakan PCM dengan dan tanpa reflektor ketika *charging*?
- b. Bagaimana pengaruh debit air terhadap suhu air keluar ketika *charging*?
- c. Bagaimana pengaruh reflektor terhadap efisiensi dari kolektor ketika *charging*?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui bagaimana karakteristik dari penyimpanan termal menggunakan PCM dengan dan tanpa reflektor ketika *charging*;
- b. Mengetahui bagaimana pengaruh debit air terhadap suhu air keluar ketika *charging*; dan

- c. Mengetahui bagaimana pengaruh reflektor terhadap efisiensi kolektor ketika *charging*.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat digunakan untuk pemanas air dan penyimpanan panas untuk keperluan sehari-hari;
- b. Dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya untuk meningkatkan performa dari kolektor; dan
- c. Memberikan referensi untuk mengetahui kinerja kolektor tabung menggunakan Phase Change Material (PCM) dengan dan tanpa reflektor.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

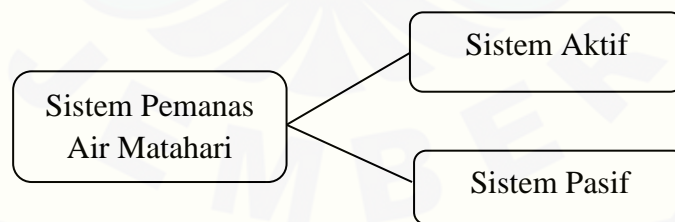
- a. Kondisi lingkungan sekitar penelitian saat dilakukan pengambilan data dianggap ideal;
- b. Sifat-sifat dari bahan tidak terjadi perubahan;
- c. Debit air pada pipa tembaga air dianggap seragam;
- d. Kerugian dari panas tidak dihitung;
- e. Kondisi dari sistem dianggap tidak memiliki kebocoran; dan
- f. Lasan dianggap tidak terjadi cacat dan menghantarkan panas dengan baik.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pemanas Air Matahari

Pemanas air matahari adalah sistem pemanas air yang sumber pemanasnya berasal dari matahari. Keuntungan dari sistem pemanas air tersebut yaitu energi yang digunakan berasal dari alam, ketersediaannya terus menerus ada tanpa membutuhkan waktu yang lama, dan ramah lingkungan (Jamar dkk., 2016). Pemanas air energi matahari merupakan sistem perpindahan panas (konduksi, konveksi, dan radiasi) yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi utama. Ketika radiasi matahari mengenai pemanas air energi matahari, sebagian radiasi akan dipantulkan ke lingkungan, sedangkan sebagian besar radiasi akan diserap oleh kolektor matahari dan diubah menjadi energi panas. Kemudian panas tersebut dipindahkan ke air yang bersirkulasi di dalam pipa-pipa pemanas air, sehingga menyebabkan suhu air naik (Al-Badi dkk., 2012). Sistem pemanas air tersebut dapat mengurangi pemakaian listrik dan bahan bakar fosil yang digunakan untuk keperluan pemanas air (Sivakumar dkk., 2012). Sistem tersebut dapat dibagi menjadi dua macam yaitu sistem aktif dan sistem pasif, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

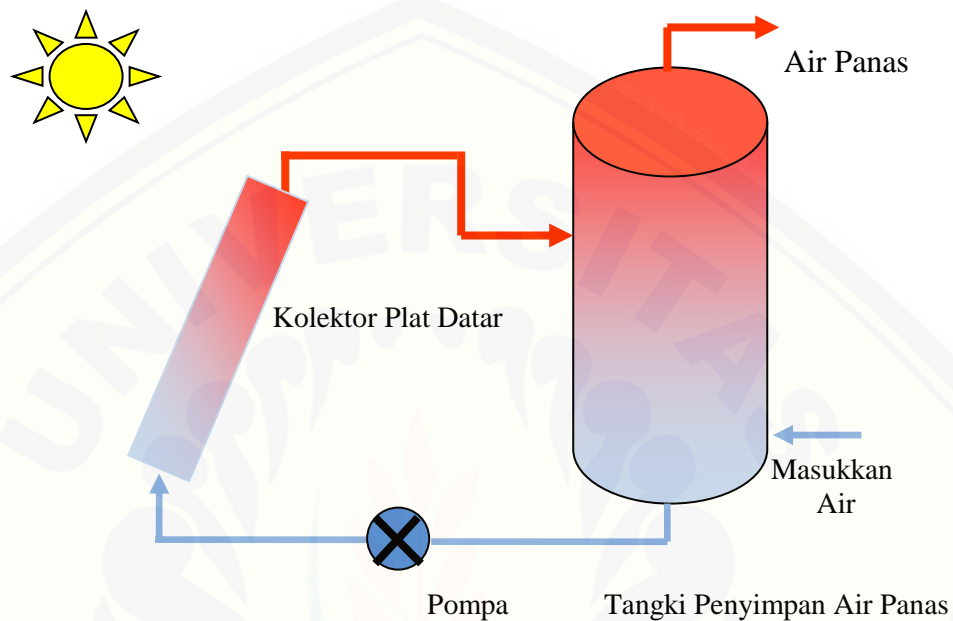


Gambar 2.1 Sistem pemanas air matahari (Al-Badi dkk., 2012)

#### 2.1.1 Sistem Aktif

Sistem aktif menggunakan pompa listrik (Al-Badi dkk., 2012), katup, dan pengendali untuk mensirkulasikan air atau fluida lainnya melalui kolektor. Ketika air dipanaskan pada kolektor matahari, kemudian air tersebut dipompa ke tangki

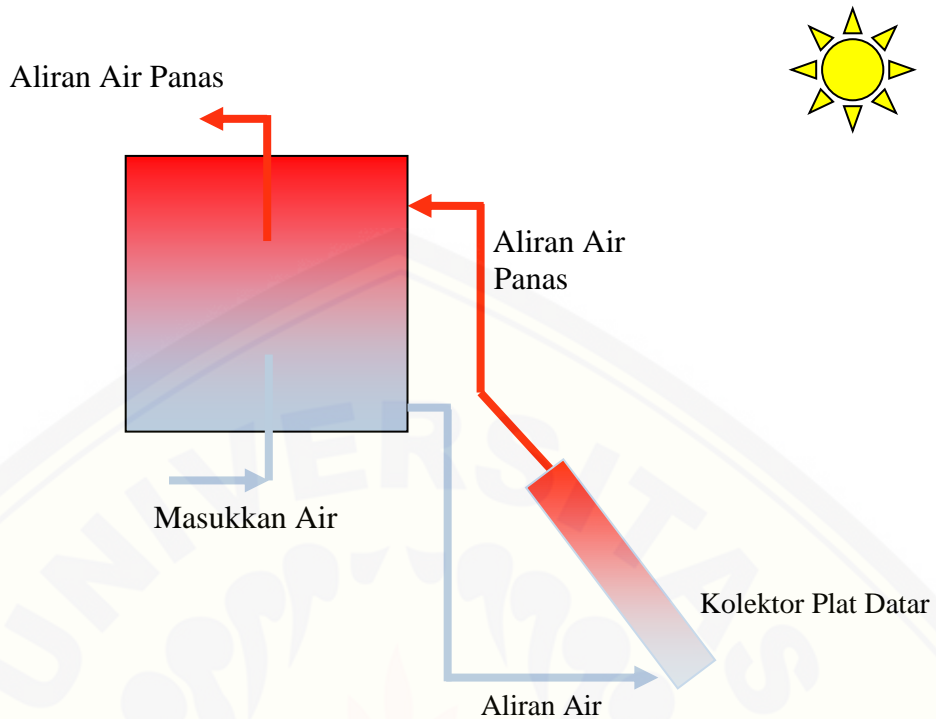
penyimpanan dan kemudian disalurkan ke pancuran air untuk digunakan di rumah. Karena sistem ini menggunakan air rumah tangga biasa pada kolektor, sehingga hanya bisa digunakan di daerah yang tidak mengalami kondisi beku. Adapun Gambar 2.2 sistem pemanas air matahari aktif ditampilkan di bawah ini.



Gambar 2.2 Sistem pemanas air matahari aktif (Dwivedi, 2009)

### 2.1.2 Sistem Pasif

Sistem pasif menggunakan metode perpindahan panas konveksi alami dan tanpa perangkat mekanis (Al-Badi dkk., 2012). Untuk mensirkulasikan air, kolektor harus ditempatkan di bawah tangki penyimpanan air panas (Khalifa, 1998) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dalam sistem tersebut, jika fluida dipanaskan secara bertahap akan menghasilkan penurunan densitas fluida. Dimulai dengan kolektor, misalnya kolektor pelat datar mengumpulkan radiasi matahari dan pada saat itu fluida di kolektor akan menyerap panas yang menyebabkan kepadatan fluida menurun serta mempengaruhi peningkatan fluida ke bagian atas kolektor dan mengalir ke dalam tangki penyimpanan. Setelah itu, fluida di bagian bawah tangki mengalir kembali ke kolektor. Fenomena ini akan bersirkulasi terus menerus hingga matahari tenggelam (Patel dkk., 2012).



Gambar 2.3 Sistem pemanas air matahari pasif (Dwivedi, 2009)

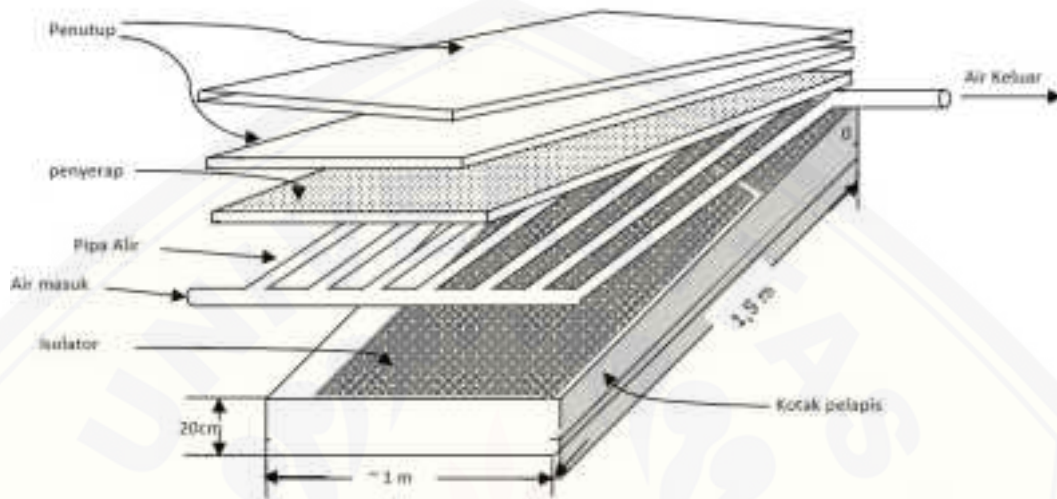
## 2.2 Kolektor Matahari

Kolektor matahari adalah komponen yang berfungsi untuk menyerap energi elektromagnetik matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Kolektor matahari dibagi menjadi tiga jenis dalam sistem termal matahari yaitu kolektor plat datar, parabolik, dan tabung vakum (Darwin dkk., 2015).

### 2.2.1 Kolektor Plat Datar

Kolektor matahari bentuk plat datar ditampilkan pada Gambar 2.4. Ketika radiasi matahari melewati *cover* kaca (transparan) dan mengenai permukaan absorber yang berwarna hitam (absorptivitas tinggi), sebagian besar energi elektromagnetik matahari diserap oleh pelat dan kemudian dipindahkan ke media transfer dalam tabung fluida untuk disimpan atau digunakan. Bagian bawah pipa-pipa air dan sisi penutup terisolasi dengan baik untuk mengurangi kerugian konduksi. Tabung fluida terhubung dengan tabung header berdiameter besar (Kalogirou, 2004).

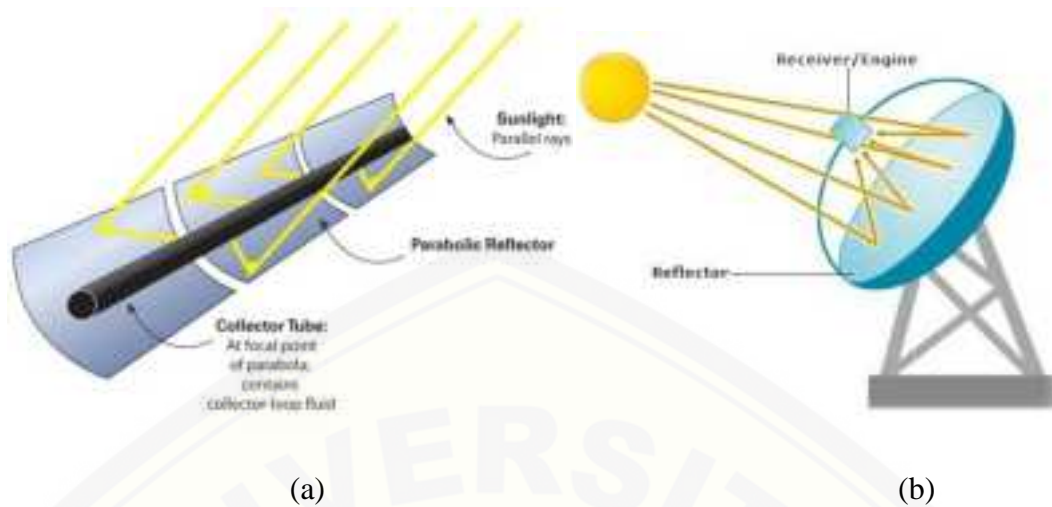
Penutup transparan digunakan untuk mengurangi kerugian konveksi dari pelat absorber. Penutup transparan juga mengurangi kerugian radiasi dari kolektor. Kolektor plat datar biasanya diposisikan secara permanen. Kolektor ini harus berorientasi langsung ke arah dari khatulistiwa.



Gambar 2.4 Kolektor plat datar (Kalogirou, 2004)

### 2.2.2 Kolektor Parabolik

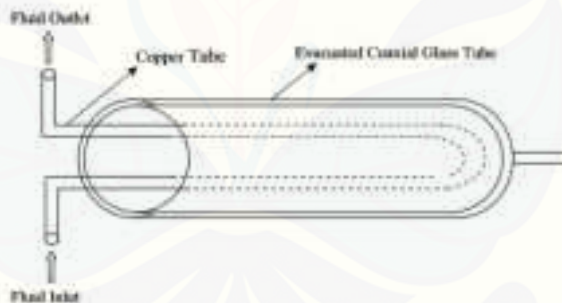
Kolektor parabolik untuk penggunaan yang membutuhkan energi panas dengan suhu di atas  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalam penggunaannya. Kolektor tersebut memiliki kemampuan untuk memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada *receiver* sehingga meningkatkan jumlah panas dari absorber pada sistem kolektor. Parabolik/konsentrator harus dirotasi, supaya cahaya matahari dapat difokuskan ke tabung absorber. Material konsentrator harus memiliki sifat reflektivitas tinggi sehingga dapat memantulkan radiasi sinar matahari ke absorber. Absorber merupakan bagian kolektor yang dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *line focus* dan *point focus* (Darwin dkk., 2015). Adapun Gambar 2.5 kolektor parabolik (a) *line focus*, (b) *point focus* ditampilkan di halaman berikutnya.



(a) *line focus*, (b) *point focus*  
Gambar 2.5 Kolektor parabolik (Darwin dkk., 2015).

### 2.2.3 Kolektor Tabung Vakum (KTV)

Kolektor matahari vakum terdiri dari pipa panas di dalam tabung tertutup dan vakum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



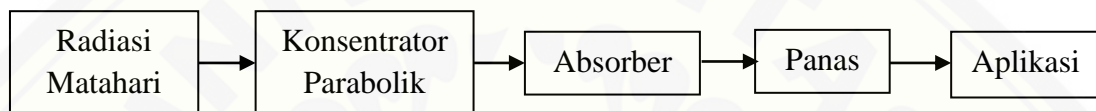
Gambar 2.6 Kolektor tabung vakum (Mishra, 2015)

KTV telah menunjukkan bahwa kombinasi permukaan selektif dan pengurang dari kerugian konveksi secara efektif dapat menghasilkan kinerja yang baik pada suhu tinggi. Penutup vakum mengurangi kerugian konveksi dan konduksi, sehingga kolektor dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi daripada kolektor plat datar.



### 2.3 Konsentrator Parabolik

Berbagai penggunaan panas diperlukan energi dalam suhu tinggi. Intensitas radiasi matahari yang ditransfer ke kolektor matahari akan menjadi panas, dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi kehilangan radiasi panas matahari (Kessentini, 2013). Hal ini dapat dilakukan dengan menambahkan konsentrator parabolik pada bagian bawah kolektor matahari. Prinsip konversi energi matahari menjadi energi panas secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.7.



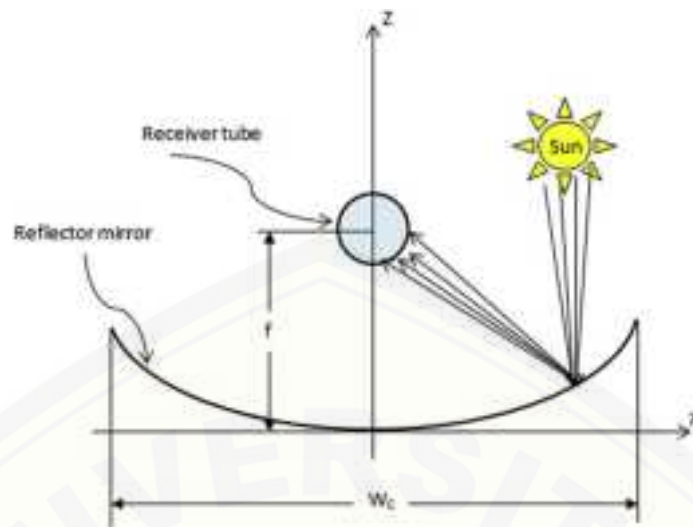
Gambar 2.7. Prinsip konversi energi termal matahari

Mekanisme kerja dari konsentrator parabolik adalah dengan cara pemantulan (*reflection*) atau pembiasaan (*refraction*) radiasi matahari dengan menggunakan cermin maupun material (Kalogirou, 2004). Cermin dalam bentuk bidang parabola. Kemampuan material dalam melakukan pemantulan maupun pembiasaan radiasi matahari berbeda-beda, tergantung dengan nilai reflektansi dari material. Adapun Tabel 2.1 nilai reflektansi dari berbagai material ditampilkan di bawah ini.

Tabel 2.1 Nilai reflektansi dari berbagai material (Czanderna, 1985)

Material	Nilai Reflektansi Matahari
Perak	0,98
Alumunium	0,92
Emas	0,85
Nikel, Crom, Baja Tahan Karat, Rhodium, Tembaga	Di bawah 0,82

Konsentartor berfungsi untuk meningkatkan efektifitas dari penangkapan energi matahari untuk kebutuhan yang spesifik. Adapun Gambar 2.8 konsentrator parabolik ditampilkan di halaman berikutnya.



Gambar 2.8 Konsentrator parabolik (<https://www.researchgate.net>, 2017)

#### 2.4 Phase Change Material (PCM)

PCM merupakan material yang mengalami perubahan fasa (cair atau padat) pada suhu tertentu. PCM memiliki sifat bahan berupa struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan ketika menyerap atau melepaskan panas (kalor laten). Panas diserap ketika terjadi perubahan fasa bahan dari padat menjadi cair dan panas dilepas ketika dari bahan yang berubah fasa dari cair ke padat. PCM digolongkan sebagai penyimpanan panas laten. Alasan utama penggunaan PCM adalah kondisi temperaturnya yang konstan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keunggulan dari PCM yaitu kapasitas penyimpanan besar, biaya murah, stabilitas kimia yang sangat baik, dan kepadatan penyimpanan tinggi (Khan dkk., 2016). PCM memiliki aplikasi pada industri pemulihan panas dari limbah dan sistem energi matahari (Huang dkk., 2017). Selain itu, PCM memiliki fitur yang menonjol bahwa suhu tetap konstan selama proses perubahan fase, dapat digunakan dalam sistem kontrol suhu. PCM dan dapat diklasifikasikan sesuai dengan kriteria yang berbeda. Menurut keadaan zat sebelum dan setelah fase perubahan, PCM dapat dibagi menjadi PCM padat-padat, PCM padat-cair, PCM gas-padat dan PCM cair-gas. Saat ini, yang paling umum digunakan adalah PCM padat-cair, karena kapasitas panas latennya tinggi dan perubahan volume rendah selama proses perubahan fase dibandingkan dengan yang lain. Suhu PCM



padat-cair naik sampai mencapai perubahan fasa suhu, maka PCM menyerap panas sangat besar sebagai penyimpanan panas laten. Berdasarkan sifat kimianya, PCM diklasifikasikan menjadi PCM organik, PCM anorganik, dan PCM eutektik. PCM organik dapat dibagi lagi menjadi paraffin dan non paraffin, keuntungan dari PCM organik adalah tidak korosif, tidak beracun, pencairan kongruen, stabilitas kimia, dan hampir tidak ada pendinginan. PCM anorganik biasanya mengacu pada air, garam terhidrasi, garam cair dan logam atau paduan. PCM anorganik memiliki manfaat berupa panas laten tinggi per satuan massa, tidak dapat terbakar, dan biaya murah dengan volume yang sama dibandingkan dengan PCM organik. PCM Eutektik adalah dua atau lebih bahan larut yang dicampur, memiliki fitur peleburan (Lin, 2018). Adapun Gambar 2.9 merupakan contoh PCM paraffin yang ditampilkan di bawah ini.



Gambar 2.9 Contoh PCM paraffin (<https://jualmesinpencacahplastik.wordpress.com>, 2016)

## 2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu tentang cara memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi di antara benda-benda material sebagai akibat dari perbedaan suhu (Holman, 2010). Perpindahan panas terbagi menjadi 3 macam yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.5.1 Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan panas melalui zat perantara berupa logam dengan tidak disertai perpindahan partikel-partikel zatnya. Contoh ketika sebuah batang besi dipanaskan diujung kanan maka panasnya akan merambat ke arah kiri yang suhunya lebih rendah. Perpindahan panas secara konduksi tergantung dengan jenis logam yang digunakan, luas penampang, panjang yang dilalui panas, dan perbedaan suhu (Indrajit, 2007). Adapun rumus matematis perpindahan kalor ini dirumuskan sebagai berikut.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

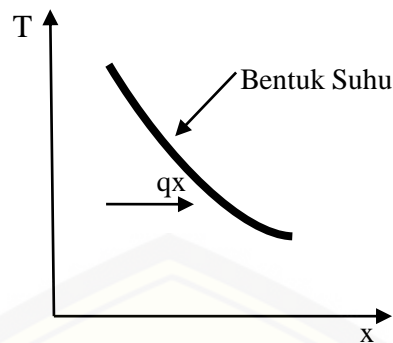
Pada kolektor tabung pemanas air terjadi fenomena perpindahan panas secara konduksi di bagian absorber. Absorber memindahkan panasnya ke tabung/pipa tembaga yang berisi air. Dengan arah aliran panas yang menuju ke pipa, dapat ditentukan luasan perpindahan panas adalah permukaan pipa itu sendiri, sehingga:

$$A = 2\pi rl \dots\dots\dots(2.2)$$

Apabila persamaan (2.2) disubstitusikan pada persamaan (2.1) maka menghasilkan perhitungan sebagai berikut.

$$q = -2\pi krl \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.3)$$

Simbol  $q_x$  adalah laju perpindahan panas (W),  $\frac{dT}{dx}$  adalah gradien suhu dalam arah aliran panas,  $r$  adalah jari-jari luar pipa (m),  $l$  adalah tebal pipa (m), konstanta positif  $k$  disebut konduktivitas termal dari material ( $W/m^{\circ}C$ ), dan tanda minus dimasukkan sehingga prinsip kedua termodinamika akan terpenuhi yaitu panas harus mengalir menurun pada skala temperatur, seperti yang ditunjukkan dalam sistem koordinat Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sketsa arah aliran panas (Holman, 2010)

Persamaan (2.1) disebut hukum konduksi panas Fourier, setelah ahli fisika matematis Perancis Joseph Fourier membuat kontribusi yang sangat signifikan pada analitik perpindahan panas konduksi. Penting untuk dicatat bahwa Persamaan (2.1) adalah persamaan yang menentukan untuk konduktivitas termal dan  $k$  memiliki satuan watt per meter derajat Celcius dalam bentuk sistem satuan aliran panas dinyatakan dalam watt (Holman, 2010). Terdapat nilai konduktivitas termal dari material-material yang ditampilkan di Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Konduktivitas termal berbagai material (Holman, 2010)

Material	Konduktivitas Termal (k)	
	W/m. $^{\circ}$ C	Btu/h.ft. $^{\circ}$ F
<b>Logam</b>		
Perak	410	237
Tembaga	385	223
Alumunium	202	117
Nikel	93	54
Besi	73	42
Baja Karbon, 1% C	43	25
Timah	35	20.3
Baja Crom-Nikel (18% Cr, 8% Ni)	16,3	9,4
<b>Padatan Non-Logam</b>		
Berlian	2.300	1.329
Marmer	2,08-2,94	1,2-1,7
Batu Pasir	1,83	1,06
Kaca	0,78	0,45
<i>Styrofoam</i>	0,033	0,019
Serbuk Gergaji	0,059	0,034
<i>Glass Wool</i>	0,038	0,022
Es	2,22	1,28

### 2.5.2 Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan panas yang disertai dengan gerakan dari partikel-partikel zatnya. Konveksi hanya terjadi pada fluida (zat yang dapat mengalir). Contoh Gambar 2.11 fenomena perpindahan panas tersebut dalam kehidupan sehari-hari adalah saat memanaskan air di dalam panci maka akan terjadi perpindahan panas dari panci ke permukaan air (Indrajit, 2007).



Gambar 2.11 Peristiwa konveksi (Indrajit, 2007)

Adapun rumus matematis secara umum laju perpindahan panas konveksi dinyatakan persamaan sebagai berikut.

$$q=hA(T_w-T_\infty)\dots\dots\dots(2.4)$$

Simbol  $q$  adalah laju perpindahan panas (watt),  $h$  adalah koefisien perpindahan panas konveksi ( $w/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $A$  adalah luas permukaan ( $m^2$ ),  $T_w$  merupakan suhu dinding ( $^\circ\text{C}$ ), dan  $T_\infty$  adalah suhu fluida ( $^\circ\text{C}$ ) (Holman, 2010).

### 2.5.3 Radiasi

Mekanisme konduksi dan konveksi merupakan transfer energi melalui media, panas juga dapat ditransfer melalui tempat vakum. Radiasi termal merupakan mekanisme radiasi elektromagnetik, radiasi tersebut disebarkan sebagai akibat dari perbedaan suhu. Pertimbangan termodinamika menunjukkan bahwa radiasi termal ideal atau benda hitam akan memancarkan energi pada laju yang sebanding dengan pangkat 4 suhu absolut dari benda dan luas

permukaannya. Dengan demikian rumus matematis dari perpindahan panas secara radiasi sebagai berikut.

$$q_{\text{dipancarkan}} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana  $\sigma$  merupakan konstanta proporsionalitas dan disebut konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ . Persamaan (2.5) disebut hukum Stefan-Boltzmann dari radiasi termal, dan itu hanya berlaku untuk benda hitam (Holman, 2010).

## 2.6 Asas Black

Kalor berhubungan dengan perpindahan energi, kalor merupakan energi yang dipindahkan dari benda bersuhu tinggi ke rendah (Aip dkk., 2009). Energi merupakan kekal sehingga benda yang memiliki suhu yang lebih tinggi akan melepaskan energi sebesar  $Q_L$  dan benda yang memiliki suhu yang lebih rendah akan menerima energi sebesar  $Q_T$  dengan sama besarnya. Secara rumus matematis pernyataan di atas dapat dituliskan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{\text{Lepas}} = Q_{\text{Terima}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan (2.6) disebut Hukum Asas Black yang menyatakan hukum kekekalan energi pada perpindahan kalor. Nama hukum tersebut diambil dari nama seorang ilmuwan asal Inggris yang bernama Joseph Black (1728-1799), sebagai penghargaan dan penghormatan atas jasa-jasanya. Menentukan kalor jenis dari suatu zat sering dilakukan dengan melakukan pengukuran kalor. Jika kalor jenis zat diketahui, kalor yang diserap ataupun kalor yang dilepas dapat ditentukan dengan syarat mengukur perubahan suhu dari zat. Adapun rumus kalor yang diserap dapat ditulis dengan persamaan 2.7.

$$Q = mc\Delta T \dots\dots\dots(2.7)$$

Simbol  $Q$  adalah banyaknya kalor (J),  $m$  adalah massa benda (kg),  $c$  adalah koefisien perpindahan kalor ( $J/kg^{\circ}C$ ), dan  $\Delta T$  adalah perbedaan suhu ( $^{\circ}C$ ). Besarnya kalor dapat dihitung menggunakan persamaan (2.7), perlu diingat bahwa suhu naik berarti zat menerima kalor dan suhu turun berarti zat melepas kalor.

### 2.7 Perhitungan Laju Aliran Massa

Perhitungan laju aliran ini menurut Duffie dan Backman dapat menggunakan rumus matematis menggunakan persamaan dibawah ini (Darwin dkk., 2015).

$$\dot{m} = \rho \cdot V \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan

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

$\rho$ = Densitas air ( $kg/m^3$ )

$V$ =Laju aliran fluida ( $m^3/s$ )

### 2.8 Laju Panas Yang Diserap

Laju panas yang diserap oleh air dapat dihitung dengan rumus matematis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Mishra, 2015).

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan

$\dot{Q}_{air}$ = Laju perolehan panas yang diserap (J/s)

$\dot{m}$ = Laju aliran massa yang mengalir (kg/s)

$C_p$ = Panas spesifik air ( $J/kg^{\circ}C$ )

$T_{out}$ = Temperatur fluida keluar ( $^{\circ}C$ )

$T_{in}$ = Temperatur fluida masuk ( $^{\circ}C$ )



## 2.9 Efisiensi Kolektor

Efisiensi dari sebuah kolektor tabung matahari adalah rasio antara laju panas yang diserap oleh air (fluida kerja) dengan radiasi matahari yang diserap oleh luasan dari kolektor tersebut. Efisiensi kolektor tabung dapat dihitung dengan rumus persamaan di bawah ini (Mishra, 2015):

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{air}}}{n \times A_{\text{cover}} \times I} 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Adapun modifikasi alat kolektor tabung dengan penambahan reflektor sehingga efisiensi kolektor dapat dihitung menggunakan persamaan rumus dibawah ini.

$$\eta = \frac{Q_{\text{air}}}{0,5.n.I.A + 0,5.n.I.0,7.A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Simbol  $\eta$  adalah efisiensi kolektor (%),  $\dot{Q}_{\text{air}}$  adalah laju perolehan panas yang diserap air (J/s atau W),  $n$  adalah jumlah kolektor yang digunakan,  $A_{\text{cover}}$  adalah luasan cover ( $\text{m}^2$ ),  $I$  adalah Intensitas radiasi matahari ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), nilai 0,5 adalah setengah bagian kolektor yang terkena sinar matahari dari arah atas dan bawah, dan nilai 0,7 adalah nilai reflektivitas dari bahan *stainless steel* (Zwinkels, 1994)

## 2.10 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dijelaskan di atas, maka dapat dilakukan hipotesis sebagai berikut.

- a. Debit air semakin kecil maka suhu air keluarakan semakin tinggi;
- b. Suhu air keluar daripipa fluida pada kolektor tabung menggunakan PCM dengan reflektor lebih tinggi daripada yang tanpa reflektor; dan
- c. Efisiensi pemanas airdengan reflektor lebih tinggi daripada tanpa reflektor.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode experimental, yaitu metode eksperimen dan analisis secara langsung. Metode ini digunakan dalam menguji suhu masuk, keluar, dan *Phase Change Material* (PCM) dari pemanas air menggunakan reflektor dan tanpa reflektor.

Absorber menyerap panas dari radiasi panas lampu, kemudian terjadi perpindahan panas dari absorber ke pipa bentuk U yang berisi air sehingga suhu air menjadi naik. Di dalam pipa absorber terdapat pipa bentuk U dan PCM. Ditambahkannya reflektor parabolik di bagian bawah kolektor berfungsi untuk memantulkan radiasi panas matahari.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

##### 3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan tujuh bulan yaitu dari September 2018 sampai Maret 2019. Berikut rincian kegiatan pada penelitian dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan

Kegiatan	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar
Studi Literatur	■						
Perencanaan Alat	■						
Persiapan Alat dan Bahan		■					
Perancangan Prototipe		■					
Pengujian Prototipe			■				
Penyusunan Proposal			■	■			

Kegiatan	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar
Pembuatan Alat							
Pengambilan Data							
Penyusunan Hasil Data							

### 3.2.2 Tempat Penelitian

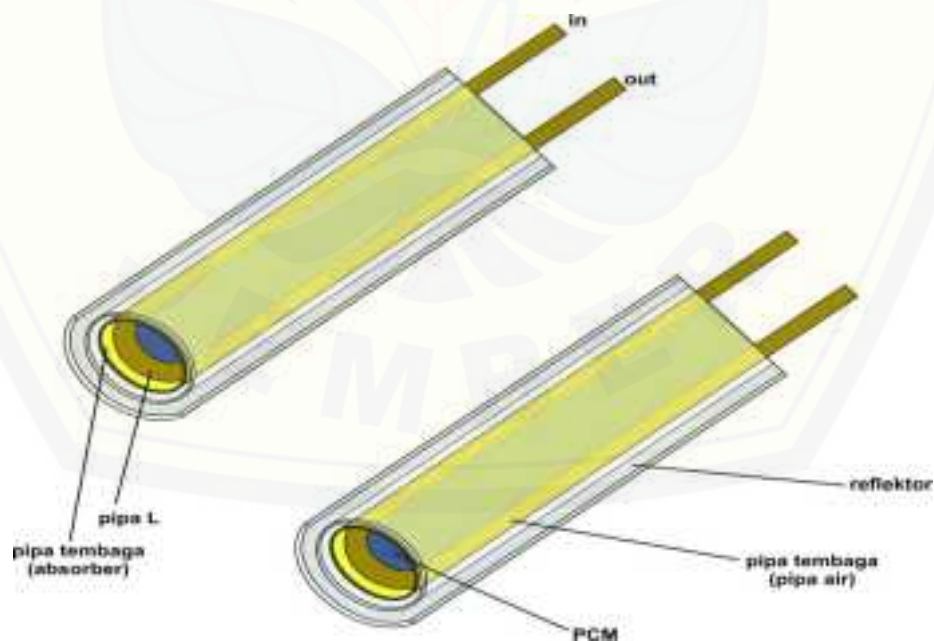
Tempat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pembuatan kolektor tabung pemanas air menggunakan PCM dengan dan tanpa reflektor dilakukan di Laboratorium Konversi Energi 1 dan
- Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Konversi Energi 1.

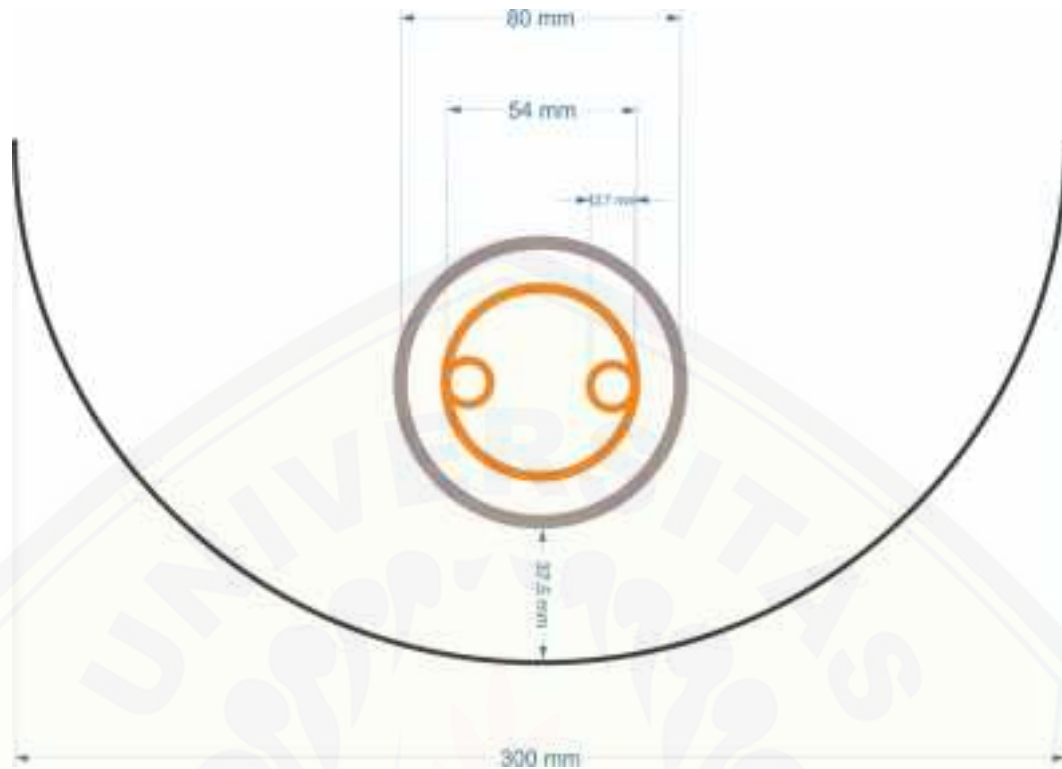
## 3.3 Alat dan Bahan

### 3.3.1 Pembuatan Kolektor Tabung

Pembuatan kolektor matahari dalam penelitian ini adalah:



Gambar 3.1 Kolektor tabung



Gambar 3.2 Dimensi kolektor tabung

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Flame gun*;
2. Meteran;
3. Gerinda;
4. Tang; dan
5. Pemotong pipa.

Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pipa tembaga kecil berdiameter 12,7 mm;
2. Pipa tembaga besar berdiameter 54 mm;
3. Pipa Akrilik berdiameter 80 mm;
4. Knee pipa tembaga berdiameter 12,7 mm;
5. Korek api elektrik;
6. Gas Butana;
7. Plat lembaran *stainless*;
8. Kayu;
9. Pилоk hitam;

10. PCM parafin;
11. Minyak goreng Sovia;
12. Elektroda perak; dan
13. Lem besi.

### 3.3.2 Pembuatan Pemanas Air

Pembuatan pemanas air dalam penelitian ini antara lain:



Gambar 3.3 Rencana desain alat pemanas air tenaga matahari

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Meteran;
2. Palu;
3. Gerinda;
4. Termokopel;
5. *Thermometer Gun*;
6. Gunting plat;
7. Stopwatch;
8. Piranometer;
9. Gelas Ukur;
10. Pompa air akuarium;
11. Gunting plat; dan
12. Pisau.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Valve berdiameter 9,5 mm;
2. Selang berdiameter 9,5 mm;
3. *Reservoir*;

4. Kayu batangan;
5. Paku;
6. *Glasswool*;
7. Kaleng;
8. Lem besi;
9. Busur derajat; dan
10. Lampu 3000 watt.

### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara kejadian yang diamati dan tidak terpengaruh oleh variabel lain. Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Terdapat tiga debit air yaitu 0,48 liter/menit; 0,59 liter/menit; dan 1,82 liter/menit dan
- b. Penambahan reflektor parabolik menggunakan material *stainless*.

#### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel-variabel yang diukur dan diamati untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini antara lain:

- a. Intensitas radiasi lampu rata-rata;
- b. Suhu masuk pipa air;
- c. Suhu keluar pipa air;
- d. Laju kalor yang diserap air; dan
- e. Performa kolektor tabung.

#### 3.4.3 Variabel Kontrol

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

- a. Fluida kerja berupa air;





Tabel 3.3 Pengambilan data pada kolektor tabung saat proses *discharging*

t (menit)	T <sub>PCMA</sub> (°C)	T <sub>PCMB</sub> (°C)	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)
0				
20				
40				
60				
80				
100				
120				
140				
160				
180				
200				
220				
240				

### 3.6 Tahap-Tahap Penelitian

#### 3.6.1 Tahap Persiapan

Tahap-tahap persiapan dalam penelitian ini adalah:

- Memeriksa keadaan dan kelengkapan alat pemanas air dan
- Menghadapkan dan memposisikan kolektor tabung pada lampu.

#### 3.6.2 Tahap Penelitian

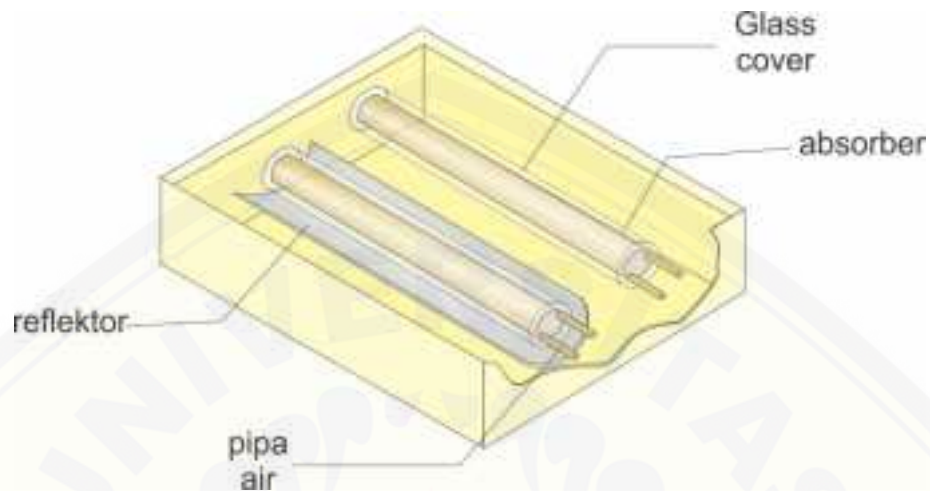
Tahap-tahap dalam melakukan penelitian ini antara lain:

- Pengambilan data dengan menempatkan alat pemanas air. Pemanas air A dengan reflektor dan pemanas air B tanpa reflektor;
- Pengukuran radiasi panas menggunakan piranometer digital,;
- Pengukuran suhu pada masing-masing titik dianalisis sesuai dengan subbab 3.5 dengan menggunakan termokopel;
- Pengambilan data diambil selama delapan jam dengan interval 20 menit; dan
- Pengambilan data dilakukan dua kali pengulangan.

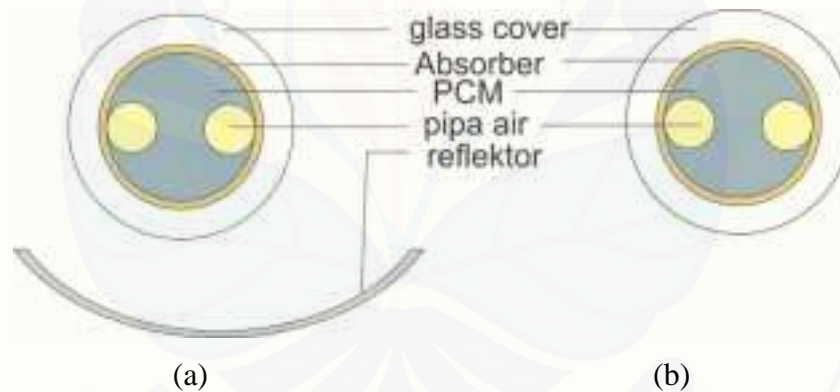


### 3.7 Desain Alat

Desain alat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Desain kolektor tabung menggunakan PCM dengan dan tanpa reflektor

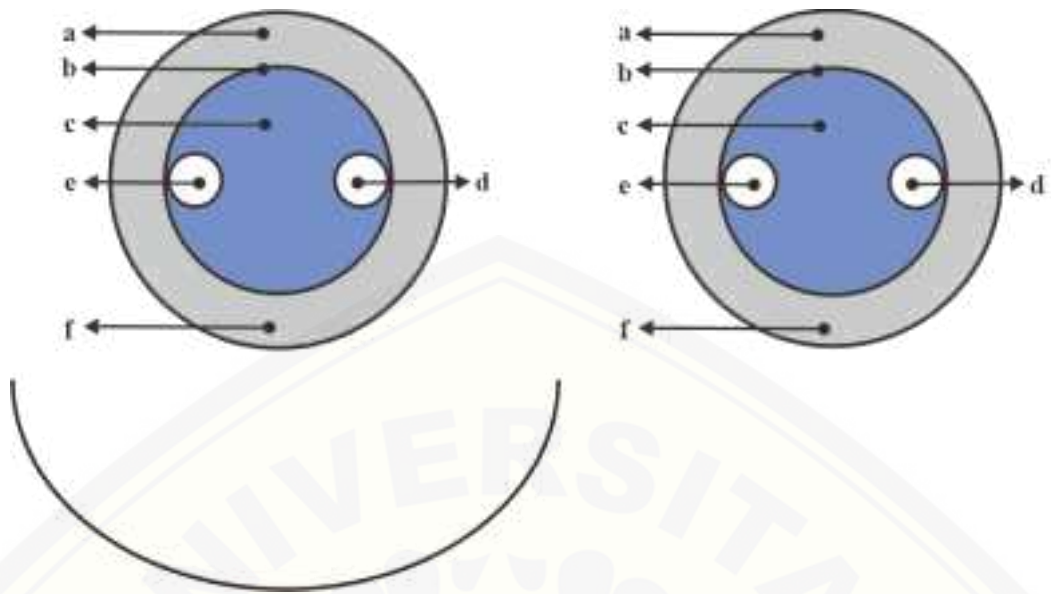


(a) dengan reflektor, (b) tanpa reflektor

Gambar 3.5 Penampang kolektor tabung

Pada penelitian ini data suhu diukur menggunakan termometer gun dan termokopel, peletakkan termokopel terdapat pada Gambar 3.6.

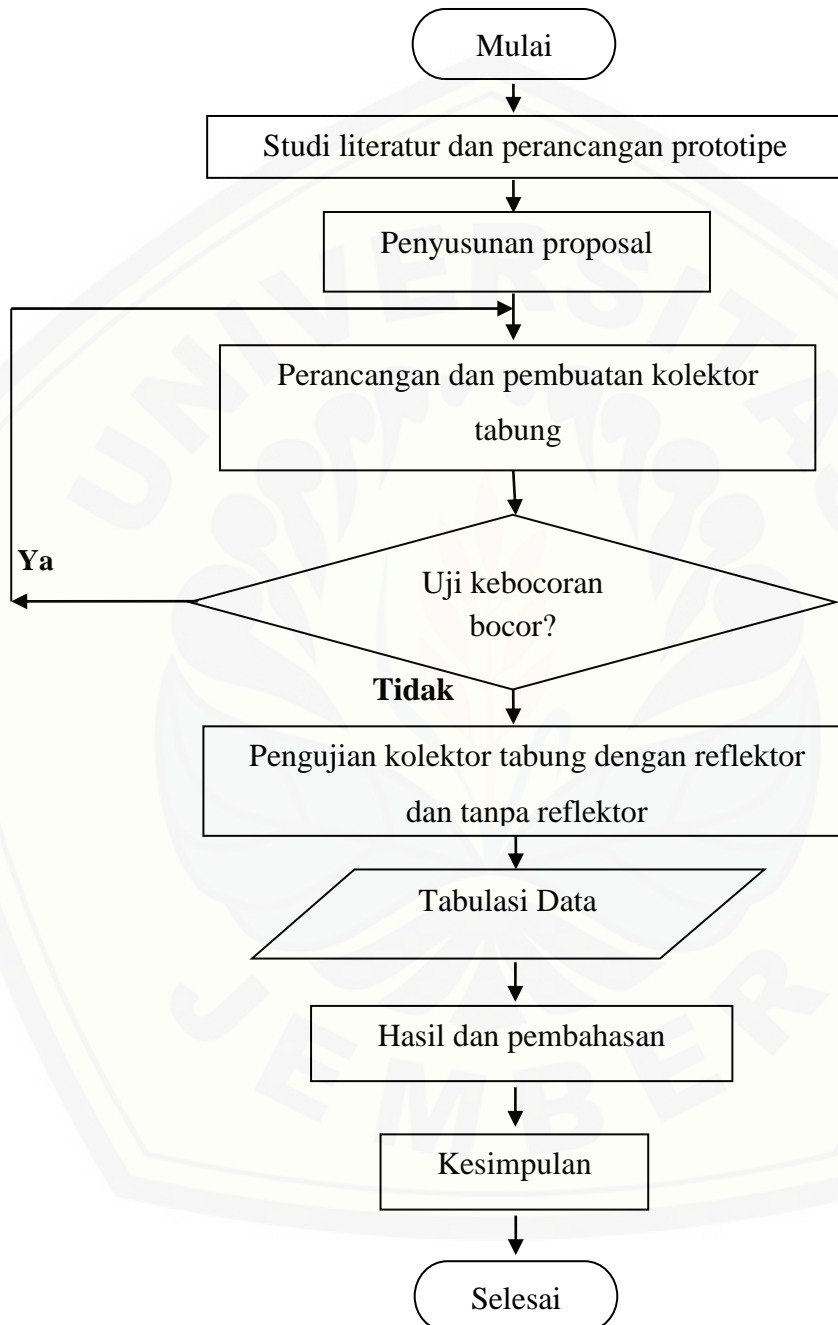
- Peletakkan termokopel pada *cover* atas;
- Peletakkan termokopel pada permukaan absorber;
- Peletakkan termokopel pada PCM;
- Peletakkan termokopel pada pipa air masuk;
- Peletakkan termokopel pada pipa air keluar; dan
- Peletakkan termokopel pada *cover* bawah.



Gambar 3.6 Peletakkan termokopel pada alat pemanas air

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam melakukan penelitian dari mulai sampai selesai ditampilkan di bawah ini.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Karakteristik penyimpanan termal dengan *Phase Change Material* (PCM) berupa titik leleh dari PCM menggunakan reflektor lebih cepat mengalami leleh dibanding dengan tanpa reflektor, karena adanya reflektor menambah intensitas radiasi lampu dari bawah kolektor dengan cara dipantulkan. Hasil suhu PCM tertinggi pada debit air 0,48 l/menit dimana titik leleh kolektor A pada menit ke 100 dan kolektor B pada menit ke 200. Titik leleh PCM (parafin 70% dan minyak goreng 30%) yaitu pada suhu 48 °C.
- b. Semakin kecil debit air maka suhu keluar pipa air akan semakin besar. Karena semakin kecil debit air maka kecepatan aliran air semakin pelan sehingga penyerapan panas dari sinar lampu akan semakin lama.
- c. Peningkatan performa dari kolektor karena adanya reflektor menambah intensitas radiasi lampu dengan cara dipantulkan ke kolektor sehingga menyebabkan selisih suhu air juga meningkat. Hasil performa kolektor tertinggi pada saat debit air 1,82 l/menit dimana performa kolektor maksimum A dan B adalah 76,80 % dan 69,70 %

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut diantaranya tentang: (a) penambahan jumlah jalur pipa fluida air, (b) menggunakan prinsip kolektor tabung vakum, dan (c) menggunakan reservoir yang memiliki prinsip tidak hanya sebagai wadah akan tetapi juga dapat menjaga suhu air di dalamnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aip, S., D. Rustiawan K., dan A. Suganda. 2009. *Praktis Belajar Fisika*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Al-Badi, A.H., dan M.H. Albadi. 2012. Domestic solar water heating system in Oman: current status and future prospects. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 16 (8):5727–5731.
- Allouhi, A., A. Ait Msaad, M. Benzakour Amine, R. Saidur, M. Mahdaoui, T. Kousksou, A.K. Pandey, A. Jamil, N. Moujibi, dan A. Benbassou. 2018. Optimization of melting and solidification processes of pcm: application to integrated collector storage solar water heaters (ICSSWH). *Solar Energy* 171: 562-570
- Buttinger, F., T. Beikircher, M. Proll, dan W. Scholkopf. 2010. Development of a new flat stationary evacuated CPC-collector for process heat applications. *Solar Energy* 84: 1166–74.
- Czanderna, A., K. Masterson, dan T. M. Thomas. 1985. *Silver/Glass Mirrors For Solar Thermal Systems*. United States of America: Technical Information Branch.
- Darwin, M. I. Maulana, dan Irwandi Z. A., 2015. Pengaruh bentuk kolektor konsentrator terhadap efisiensi pemanas air surya. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTMXIV)*.
- Dwivedi, V., 2009. Thermal modelling and control of domestic hot water tank, Glasgow: University of Strathclyde.
- Felinski, P. dan Robert Sekret. 2017. Effect of a low cost parabolic reflector on the charging efficiency of an evacuated tube collector/storage system with a PCM. *Solar Energy* 144: 758–766
- Hamdi. 2016. *Energi Terbarukan*. Jakarta: KENCANA
- Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer, Tenth Edition*. New York: McGraw-Hill, a business unit of The Mc Graw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas.
- Houcine, A. 2017. A Novel Solar Concentrating System Based On A Fixed Cylindrical Reflector And Tracking Receiver. <https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-the-Parabolic-Trough-Concentrator->



system-shown-in-two-dimensions\_fig17\_320397083. [Diakses pada 30 Oktober]

- Huang, X., G. Alva, Y. Jia, dan G. Fang. 2017. Morphological characterization and applications of Phase Change Materials in thermal Energy storage:review. *Renew Sustain Energy Rev* 72:128–45.
- Indrajit, D. 2007. *Mudah Dan Aktif Belajar Fisika*. Bandung:PT. Setia Purna Inves.
- Jamar, A., Z.A.A. Majid, dan W.H. Azmia. 2016. A review of water heating system for solar energy application. *International Communication in Heat and Mass Transfer*.
- Kalogirou, S. A. 2004. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30: 231–295.
- Kalogirou, S. 2009. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters, *Sol. Energy* 83 (1):39–48.
- Kessentini, H., dan C. Bouden. 2013. Numerical and experimental study of an integrated solar collector with CPC reflectors. *Renew Energy* 57: 577–86.
- Khalifa, A.J.N. 1998. Forced versus natural circulation solar water heaters: a comparative performance study. *Renew. Energy* 14 (1):77–82.
- Khan, Z., Z. Khan, dan A.A Ghafoor. 2016. Review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility. *Energy Convers Manag* 115:132–58.
- Lin, Y., Y. Jia, G. Alva, dan G. Fang. 2018. Review on thermal conductivity enhancement, thermal properties and applications of phase change materials in thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:2730-2742.
- Mehrali, M., S. T. Latibari, M.A. Rosen, A.R. Akhiani, M.S. Naghavi, E. Sadeghinezhad, H.S.C. Metselaar, M. M. Nejad, dan M. Mehrali. 2016. From rice husk to high performance shape stabilized phase change materials for thermal energy storage. *RSC Advances* 6, 45595-45604.
- Mishra, R.K., V. Garg, dan G.N. Tiwari. 2015. Thermal modeling and development of characteristic equations of evacuated tubular collector (ETC) *Solar Energy* 116:165–176.



- 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). *Solar Energy* 153: 531-539.
- Papadimitratos, A., S. Sobhansarbandi, V. Pozdin, A. Zakhidov, dan F. Hassanipour. 2016. Evacuated tube solar collectors integreted with phase change materials. *Solar Energy* 129:10-19.
- Patel, K., P. Patel, dan J. Patel. 2012. Review of solar water heating systems. *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 3 (4):4.
- Sivakumar, P., W. Christraj, M. Sridharan, dan N. Jayamalathi. 2012. Performance improvement study of solar water heating system. *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* 7 (1):45-49.
- Tjasyono, B. 2012. *Meteorologi Indonesia 1, Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Vandro. 2016. Cara Mudah Membuat Parafin dari Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Lilim. <https://jualmesinpencacahplastik.wordpress.com/2016/08/01/caramudahmembuatparafindarilimbahplastiksebagaibahanbakupembuatanlilin>. [Diakses pada 2 Oktober 2018].
- Vanhas, M. K., R. Koekoeh K. W., dan N. Ilminnafik. 2018. Penambahan minyak goreng pada pcm paraffin guna meningkatkan karakteristik penyimpanan termal pada media penyimpanan panas. *Jurnal Stator Teknik Mesin Universitas Jember* 1 (1): 1-4.
- Wang, Z., W. Yang, F. Qiu, X. Zhang, dan X. Zhao. 2015. Solar water heating: from theory, application, marketing and research. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 41:68-84.
- Zwinkels, J.C., M. Noel, dan C. X. Dodd. 1994. Procedure and standards for accurate spectrophotometric measurements of specular reflectance. *Applied Optics.* 33:34.

LAMPIRAN 4.1 Menghitung Debit Air

1. Debit Air (0,48 l/menit)

Diketahui:  $t = 125 \text{ s} = 2,08 \text{ menit}$

$V = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Dijawab:  $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{1}{2,08}$$

$$Q = 0,48 \text{ l/menit}$$

2. Debit Air (0,59 l/menit)

Diketahui:  $t = 100 \text{ s} = 1,67 \text{ menit}$

$V = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Dijawab:  $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{1}{1,67}$$

$$Q = 0,59 \text{ l/menit}$$

3. Debit Air (1,82 l/menit)

Diketahui:  $t = 33 \text{ s} = 0,55 \text{ menit}$

$V = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $Q = \dots?$

Dijawab:  $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{1}{0,55}$$

$$Q = 1,82 \text{ l/menit}$$

LAMPIRAN 4.2 Perhitungan

1. Menghitung Efisiensi Kolektor *Charging*

a. Contoh dari perhitungan efisiensi kolektor dengan reflektor pada debit air 1,82 l/m ketika menit ke-20, antara lain sebagai berikut.

Diketahui: Waktu (t) dalam 1 liter = 33 detik  
 Panas spesifik air (c) = 4200 J/kg°C  
 Massa jenis air ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>  
 Panjang *glass tube* (l) = 1 m  
 Diameter *glass tube* (d) = 0,08 m  
 $T_{inA}$  = 31,7 °C  
 $T_{outA}$  = 32,3 °C

Ditanyakan: Efisiensi kolektor tabung dengan reflektor pada menit ke 20?

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,03 \text{ kg/s}$$

$$A_{glasstube} = \pi \cdot d \cdot l$$

$$A_{glasstube} = 3,14 \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$$

$$A_{glasstube} = 0,2512 \text{ m}^2$$

$$\eta = \frac{Q_{air}}{0,5 \cdot n \cdot IA + 0,5 \cdot n \cdot I \cdot 0,7 \cdot A} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot (T_{outA} - T_{inA})}{0,5 \cdot n \cdot IA + 0,5 \cdot n \cdot I \cdot 0,7 \cdot A} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{0,03 \times 4200 \times 0,6}{0,5 \times 1 \times 488 \times 0,2512 + 0,5 \times 1 \times 488 \times 0,7 \times 0,2512} \times 100 \%$$

$$\eta = 66,6 \%$$

b. Contoh dari perhitungan efisiensi kolektor tanpa reflektor pada debit air 1,82 l/m ketika menit ke-20, antara lain sebagai berikut.

Diketahui: Waktu (t) dalam 1 liter = 33 detik

Panas spesifik air ( $c$ ) = 4200 J/kg°C

Massa jenis air ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Panjang *glass tube* ( $l$ ) = 1 m

Diameter *glass tube* ( $d$ ) = 0,08 m

$T_{inA}$  = 28,7 °C

$T_{outA}$  = 28,9 °C

Ditanyakan: Efisiensi kolektor tabung dengan reflektor pada menit ke 20?

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,03 \text{ kg/s}$$

$$A_{glasstube} = \pi \cdot d \cdot l$$

$$A_{glasstube} = 3,14 \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$$

$$A_{glasstube} = 0,2512 \text{ m}^2$$

$$\eta = \frac{Q_{air}}{0,5 \cdot n \cdot I \cdot A} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot (T_{outA} - T_{inA})}{0,5 \cdot n \cdot I \cdot A} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{0,03 \times 4200 \times (28,9 - 28,7)}{0,5 \times 1 \times 455 \times 0,2512} \times 100 \%$$

$$\eta = 55,1 \%$$

Dengan cara menghitung efisiensi kolektor saat *charging* seperti contoh di atas tiap interval 20 menit maka disajikan Tabel 4.10 sampai 4.12 tiap debit air.

Tabel 4.10 Efisiensi kolektor tabung pada saat charging (0,48 l/menit)

t (menit)	I <sub>A</sub> (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>B</sub> (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>inA</sub> (°C)	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>inB</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	Ef <sub>A</sub> (%)	Ef <sub>B</sub> (%)
0	472	451	29,0	29,0	29,0	29,0	0,0	0,0
20	492	488	31,3	32,9	31,4	32,1	51,1	38,4
40	521	516	35,5	37,0	33,0	33,7	45,3	38,9
60	469	473	38,1	39,5	34,8	35,5	48,6	39,6
80	476	481	40,5	42,0	36,4	37,1	51,2	38,9
100	476	469	42,5	44,0	38,1	38,8	51,3	39,9
120	493	472	44,3	45,9	39,3	40,0	49,5	42,5
140	476	507	46,0	47,6	40,3	41,0	52,8	36,9
160	508	519	46,8	48,4	41,1	41,8	49,6	36,1
180	494	523	48,3	50,0	42,0	42,8	52,6	38,4
200	501	507	49,0	50,6	42,5	43,2	50,3	36,9
220	525	513	50,2	51,7	43,3	44,0	45,0	36,5
240	506	464	50,9	52,5	43,9	44,7	49,7	43,2

Tabel 4.11 Efisiensi kolektor tabung pada saat charging (0,59 l/menit)

t (menit)	I <sub>A</sub> (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>B</sub> (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>inA</sub> (°C)	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>inB</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	Ef <sub>A</sub> (%)	Ef <sub>B</sub> (%)
0	457	422	28,0	28,0	28,0	28,0	0,0	0,0
20	497	466	31,5	32,9	29,9	30,5	55,4	39,5
40	410	418	34,9	36,1	31,8	32,4	57,5	44,0
60	407	428	37,7	38,9	33,4	33,9	58,0	42,9
80	409	424	39,7	40,9	34,7	35,3	57,7	43,4
100	420	415	42,0	43,3	35,7	36,2	58,5	40,3
120	450	420	43,5	44,8	36,7	37,3	59,0	43,8
140	455	434	44,1	45,5	37,9	38,4	58,3	38,6
160	425	421	44,8	46,1	38,8	39,3	57,9	39,7
180	426	419	46,4	47,6	39,5	40,1	57,7	47,9
200	436	420	47,6	48,9	40,8	41,3	58,6	39,9
220	437	416	48,7	49,9	41,8	42,3	54,0	40,2
240	453	445	49,8	51,1	42,4	43,0	56,5	45,1

Tabel 4.12 Efisiensi kolektor tabung pada saat charging (1,82 l/menit)

t (menit)	I <sub>A</sub> (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>B</sub> (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>inA</sub> (°C)	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>inB</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	Ef <sub>A</sub> (%)	Ef <sub>B</sub> (%)
0	491	503	28,3	28,3	28,3	28,3	0,0	0,0
20	488	455	31,7	32,3	28,7	28,9	66,6	55,1
40	516	503	33,2	33,8	29,3	29,6	62,9	59,8
60	503	500	36,0	36,6	31,3	31,6	64,5	60,2
80	479	493	38,4	38,9	33,3	33,6	61,7	61,1
100	493	494	39,6	40,1	34,6	34,9	65,8	60,9
120	471	481	41,5	42,0	36,1	36,4	62,6	62,5
140	476	485	42,8	43,4	37,1	37,4	68,3	62,1
160	481	500	44,0	44,5	37,8	38,1	67,5	60,2
180	480	479	45,2	45,8	39,1	39,4	73,8	62,9
200	441	440	46,1	46,7	39,8	40,1	73,5	68,3
220	423	432	46,7	47,2	40,4	40,7	76,8	69,7
240	435	457	47,3	47,8	40,9	41,2	74,5	65,9

## 2. Menghitung Efisiensi Kolektor *Discharging*

Contoh dari perhitungan efisiensi kolektor A (dengan reflektor) saat *discharging* pada debit air 0,48 l/m ketika menit ke-20, antara lain sebagai berikut.

Diketahui: Waktu (t) dalam 1 liter = 125 detik  
 Massa jenis air ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>  
 Panas spesifik air (c1) = 4200 J/kg°C  
 Panas spesifik PCM (c2) = 2653 J/kg°C  
 Massa PCM (m2)= 1,7 kg  
 T<sub>outA</sub>= 52,5 °C (ketika menit ke-0)  
 T<sub>outA</sub>= 51,4 °C (ketika menit ke-20)  
 T<sub>pcmA</sub>= 57,5 °C (ketika menit ke-0)  
 T<sub>pcmA</sub>= 55,8 °C (ketika menit ke-20)

Ditanyakan: Efisiensi kolektor tabung dengan reflektor pada menit ke 20?

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$   
 $\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{125 \text{ s}}$   
 $\dot{m} = 0,008 \text{ kg/s}$   
 $\eta = \frac{\dot{m} \cdot c1 \cdot \Delta T_{air}}{\dot{m} \cdot c2 \cdot \Delta T_{PCM} \cdot t}$



$$\eta = \frac{0,008.4200(52,5-51,4)}{\frac{1,7.2653.(57,5-55,8)}{1200}}$$

$$\eta = 5,7 \%$$

Dengan cara menghitung efisiensi kolektor saat *discharging* seperti contoh di atas tiap interval 20 menit maka disajikan tabel tiap debit air dibawah ini.

Tabel 4.13 Efisiensi kolektor saat *discharging* (0,48 l/menit)

Menit ke-	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	T <sub>pcmA</sub> (°C)	T <sub>pcmB</sub> (°C)	ef <sub>A</sub> (%)	ef <sub>B</sub> (%)
0	52,5	44,7	57,5	49,0		
20	51,4	43,1	55,8	48,0	5,7	12,9
40	49,8	42,6	54,9	47,0	16,3	4,7
60	48,3	41,8	53,6	46,4	9,9	11,9
80	46,7	40,9	52,2	45,6	10,5	10,6
100	45,4	39,8	51,1	44,7	11,0	10,4
120	44,5	39,3	50,1	43,8	7,1	5,5
140	43,7	38,1	48,7	42,2	5,1	6,5
160	42,6	36,9	48,1	41,4	17,1	12,3
180	42,1	36,3	46,3	39,7	2,5	3,3
200	41,2	35,5	45,2	38,6	7,4	6,5
220	40,6	35,0	44,5	37,6	7,0	4,3
240	40,0	33,7	44,0	36,9	10,7	16,6
Rata-rata ef					9,2	8,8

Tabel 4.14 Efisiensi kolektor saat *discharging* (0,59 l/menit)

Menit ke-	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	T <sub>pcmA</sub> (°C)	T <sub>pcmB</sub> (°C)	ef <sub>A</sub> (%)	ef <sub>B</sub> (%)
0	51,1	43,0	55,6	47,8		
20	50,6	42,1	54,7	47,1	6,8	16,3
40	49,4	40,4	53,0	46,3	8,1	23,0
60	47,5	39,8	51,2	44,9	11,2	4,3
80	46,0	39,3	50,8	43,9	47,9	5,6
100	45,0	38,4	49,8	43,0	11,2	12,5
120	44,2	37,4	48,8	41,9	8,5	10,2
140	42,6	36,8	47,7	40,7	16,3	5,5
160	41,9	36,1	47,0	39,8	11,2	8,9
180	41,5	35,5	46,0	38,9	5,3	6,6
200	40,9	34,6	44,3	37,8	3,8	9,2
220	40,1	34,1	43,3	36,9	9,7	6,1
240	38,5	32,0	42,0	35,6	12,6	17,1
Rata-rata ef					12,7	10,5

Tabel 4.15 Efisiensi kolektor saat discharging (1,82 l/menit)

Menit ke-	T <sub>outA</sub> (°C)	T <sub>outB</sub> (°C)	T <sub>pcmA</sub> (°C)	T <sub>pcmB</sub> (°C)	ef <sub>A</sub> (%)	ef <sub>B</sub> (%)
0	47,8	41,2	53,4	47,2		
20	47,5	39,3	52,6	46,1	14,7	58,1
40	46,2	38,7	50,8	44,9	23,3	14,8
60	44,7	37,7	49,2	44,0	32,5	40,6
80	43,0	37,3	47,9	43,3	43,8	19,5
100	41,9	36,7	46,9	42,4	35,2	20,5
120	41,0	36,0	46,1	41,3	37,7	21,3
140	40,0	35,3	45,2	40,4	39,1	28,7
160	38,7	34,4	44,5	39,2	59,9	24,3
180	37,8	33,4	42,9	38,4	20,5	39,4
200	37,1	32,8	42,2	37,3	31,1	19,8
220	36,3	31,9	41,0	35,9	22,3	21,6
240	35,0	30,7	39,7	34,7	32,3	35,8
Rata-rata efisiensi (%)					32,7	28,7

Lampiran 4.3 Dokumentasi perhitungan lama air mengalir pada pipa air

1. Debit Air 0,48 l/menit

Diketahui:  $r = 0,00591 \text{ mm}$

$t_{\text{debit air}} = 125 \text{ s}$

$l = 2 \text{ m}$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\pi = 3,14$

$V_{\text{debit air}} = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $t_{\text{lama air}} = ?$

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{125 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{125 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,008 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$$

$$t = \rho \cdot \frac{\pi \cdot r^2 \cdot l}{\dot{m}}$$

$$t = 1000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,00591^2 \cdot 2}{0,008}$$

$$t = 27,37 \text{ s}$$

2. Debit Air 0,59 l/menit

Diketahui:  $r = 0,00591 \text{ mm}$

$t_{\text{debit air}} = 100 \text{ s}$

$l = 2 \text{ m}$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\pi = 3,14$

$V_{\text{debit air}} = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $t_{\text{lama air}} = ?$

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{100 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{100 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,01 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$$

$$t = \rho \cdot \frac{\pi \cdot r^2 \cdot l}{\dot{m}}$$

$$t = 1000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,00591^2 \cdot 2}{0,01}$$

$$t = 21,90 \text{ s}$$

### 3. Debit Air 1,82 l/menit

Diketahui:  $r = 0,00591 \text{ mm}$

$t_{\text{debit air}} = 33 \text{ s}$

$l = 2 \text{ m}$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\pi = 3,14$

$V_{\text{debit air}} = 1 \text{ liter}$

Ditanya:  $t_{\text{lama air}} = ?$

Dijawab:  $\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \text{ liter}}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{33 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,03 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \frac{V}{t}$$

$$t = \rho \cdot \frac{\pi \cdot r^2 \cdot l}{\dot{m}}$$

$$t = 1000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,00591^2 \cdot 2}{0,03}$$

$$t = 7,30 \text{ s}$$

Lampiran 4.4 Dokumentasi pembuatan alat



Gambar lampiran a). Memperhalus permukaan pipa air setelah dipotong



Gambar lampiran b). Pengelasan pipa air di permukaan pipa absorber





Gambar lampiran c). Pembuatan reflektor *stainless*



Gambar lampiran d). Rangka dan reflektor





Gambar lampiran e). Pengecatan dengan pilok



Gambar lampiran f). Pemasangan termokopel



Gambar lampiran g). Pencairan parafin pada *microwave*



Gambar lampiran h). Pengukuran titik leleh PCM



Gambar lampiran i). Pengukuran suhu leleh menyeluruh PCM



Gambar lampiran j). Pengukuran berat parafin



Gambar lampiran k). Pencairan parafin



Gambar lampiran l). Pengukuran jumlah minyak goreng



Gambar lampiran m). Pengukuran jumlah air di *reservoir*





Gambar lampiran n). Pengukuran debit air



Gambar lampiran o). Pengambilan data *charging*



Gambar lampiran p). Pengambilan data *discharging*



Gambar lampiran q). Pengukuran suhu kolektor dengan termometer *reader*





Gambar lampiran r). Tabulasi data



Gambar lampiran s). Pengukuran intensitas radiasi lampu