



**PENGARUH VARIASI BAHAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
TERHADAP PERFORMANSI *SOLAR WATER HEATER***

SKRIPSI

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

Oleh

Dzaka Triputra Pramono

NIM. 141910101061

PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**PENGARUH VARIASI BAHAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
TERHADAP PERFORMANSI *SOLAR WATER HEATER***

SKRIPSI

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

Oleh

Dzaka Triputra Pramono

NIM. 141910101061

PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas segala rizki dan karunia-Nya yang telah dilimpahkan, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Keluargaku, Ibu Sunanik, Ayah Hadi Pramono serta kakak-kakakku Angga Azirana Pramono dan Gholib Aulia Pramono yang tercinta. Terimakasih atas semua support, usaha, doa, motivasi semangat, pengorbanan dan biaya yang telah diberikan selama masa perkuliahan hingga saat ini.
3. Guru-guru dari sekolah SD sampai dengan SMA, Dosen- dosen yang telah mengajar semasa perkuliahan serta civitas akademik jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Terima kasih telah sabar membimbing dan memberikan ilmunya kepada saya terutama Bapak Ir. Franciscus Xaverius Kristianta M.Eng., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ahmad Adib Rosyadi S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc. selaku dosen penguji I, Bapak M Fahrur Rozy Hentihu S.T., M.T., selaku dosen penguji II, dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen pembimbing akademik.
4. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS Al-Insyirah 5)

“Kau tak akan pernah mampu menyebrangi lautan sampai kau berani berpisah
dengan daratan”

(Christopher Colombus)

“Anda mungkin bisa menunda, tapi waktu tidak akan menunggu”

(Benjamin Franklin)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dzaka Triputra Pramono.

NIM : 141910101061

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh variasi bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar Water Heater*” adalah 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 yang sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Juli 2018

Yang menyatakan,

Dzaka Triputra Pramono

NIM 141910101061

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI BAHAN *PARABOLIC CONCENTRATOR*
TERHADAP PERFORMANSI *SOLAR WATER HEATER***

Oleh:

Dzaka Triputra Pramono

NIM 141910101061

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta M.Eng

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh variasi bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar Water Heater*”. Karya Dzaka Triputra Pramono telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : 17 Juli 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. FX. Kristianta M.Eng.

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

NIP 196501202001121001

NIP 198501172012121001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc.

M Fahrur Rozy Hentihu S.T., M.T.

NIP 196806171995011001

NIP 198003072012121003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh variasi bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar Water Heater*; Dzaka Triputra Pramono, 141910101061; 2018: halaman 57; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Indonesia merupakan negara tropis yang terletak pada posisi 6° LU - 11° LS didaerah garis khatulistiwa yang memiliki potensi energi surya sangat besar. Dirjen Energi Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) tahun 2016 telah melakukan penelitian dan menentukan bahwa besar radiasi penyinaran di Indonesia yaitu $4,80 \text{ kWh/ m}^2/\text{hari}$. Pemanfaatan energi surya ditujukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar fosil. Energi surya dalam pemanfaatan dibagi menjadi dua jenis, yaitu solar termal untuk aplikasi pemanasan dan *solar photovoltaics* untuk pembangkitan listrik.

Pemanfaatan energi surya dalam pemanasan cukup banyak diantaranya dalam hal pengeringan produk, memasak, sistem ventilasi surya, distilasi surya air laut dan *Solar water heater* (pemanas air tenaga surya). Kebutuhan air panas dalam skala kecil maupun besar dalam rumah tangga dan industri dapat disediakan langsung menggunakan sistem pemanas energi surya. Kebutuhan air panas pada tingkat keluarga sangat tinggi, banyak negara yang sudah memanfaatkan energi surya sebagai media pemanasan air.

Untuk meningkatkan performa *Solar water heater* dilakukan penambahan komponen *Concentrator parabolic* yang berfungsi sebagai pengkonsentrasi radiasi matahari. Tujuan penelitian kali ini adalah untuk mengetahui perbandingan penggunaan *Concentrator parabolic* bahan *aluminium* dan *Concentrator parabolic* bahan *stainless steel* terhadap performansi *solar water heater*. Penelitian tersebut, menggunakan metode eksperimental dengan komponen utama: kolektor, *Concentrator parabolic*, *tube acrylic*, dan *reservoir*. Dengan tambahan alat ukur, seperti: *Solar power meter*, *anemometer*, gelas ukur

thermoreader, dan *thermocouple*. Waktu pengambilan data 8 jam dengan interval waktu 1jam.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa temperatur outlet Solar water heater dengan Concentrator aluminium pada laju aliran massa 0,001kg/s memiliki temperatur tertinggi sebesar 53,0°C sedangkan terendah pada laju aliran massa 0,007kg/s sebesar 36,6°C pukul 12.00 WIB, sehingga semakin tinggi laju aliran massa maka temperatur outlet akan semakin kecil dan begitu sebaliknya hingga temperatur optimum yang dapat diserap air.

Performansi solar water heater yang menggunakan *Concentrator parabolic* bahan *aluminium* lebih bagus daripada menggunakan *Concentrator parabolic* bahan *stainless steel*, dengan selisih efisiensi tertinggi sebesar 9,66 % pada laju aliran massa 0,007kg/s. Hal ini disebabkan karena nilai reflektansi surya aluminium lebih tinggi dari stainless steel.

SUMMARY

The Variation Effect of Parabolic Concentrator Materials on Solar Water Heater Performance; Dzaka Triputra Pramono, 141910101061; 2018: 57 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Indonesia is a tropical country located at the position of 6° LU-11°LS in the equator area which has enormous solar energy potential. Director General of renewable energy and energy conversion in 2016 has conducted research and determined that the radiation in Indonesia is 4.80 kWh m⁻² / day. The utilization of solar energy is aimed at reducing the environmental impacts caused by the use of fossil fuels. Solar energy in utilization is divided into 2 types namely solar thermal for heating applications and solar photovoltaics for power generation.

The utilization of solar energy in heating is pretty much an example in terms of product drying cooking , Solar ventilation system, Solar distillation of sea water and solar water heating. Hot water requirements in small and large scale in household and industry can be provided directly using solar energy heating system. The need for hot water at the family level is very high and many countries are already utilizing solar energy as a water heater.

To improve performance solar water heater performed additional components a parabolic concentrator that act as concentration of solar radiation. The point this study is to determine the comparison of the use of concentrator parabolic alumunium material and parabolic concentrator of stainless steel material to the performance of solar water heater. The research used experimental method with main component that collector , concentrator parabolic , tube acrylic and reservoir. With additional measuring tools, such as: Solar power meter, anemometer, measuring glass thermoreader, and thermocouple. Time of data retrieval 8 hour with an interval of 1 hour.

Result from this study it was found that the temperature outlet solar water heater with alumunium concentrator at mass flow rate of 0,001kg/s has the

highest temperatur 53,0 °C while the lowest at a flow rate 0,007kg/s is 36,6 °C at 12 a.m. So the higher mass flow rate then the outlet temperature will be smaller and vice versa until the optimum temperature that can be absorbed by water.

The performance of solar water heater using Concentrator parabolic aluminum is better than using Concentrator parabolic stainless steel, with the highest efficiency difference of 9,66% at mass flow rate of 0.007kg/s. This is because the reflectance value of aluminum is higher than stainless steel.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh variasi bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar Water Heater*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. yang telah member kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
4. Ir. FX. Kristianta M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, dorongan, semangat dan saran dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi kepada penulis;
5. Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc. Selaku Dosen Penguji Utama dan M Fahrur Rozy Hentihu S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji Anggota, terima kasih atas kritik dan saran yang membangun untuk penulisan skripsi ini;
6. Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan;
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, motivasi dan kritik kepada penulis;

8. Ibu Sunanik, Ayah Hadi Pramono serta kakak-kakakku Angga Azirana Pramono dan Gholib Aulia Pramono yang telah memberikan doa, semangat, waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis;
9. Dulur-dulur Teknik Mesin Angkatan 2014 (M16) yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi;
10. Tim *Solar energy* (Kresna, Ira, Izhar), yang saling memotivasi dalam menyelesaikan penulisan skripsi;
11. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak, demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang telah membaca.

Jember, 17 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBINGAN	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Radiasi Matahari	6
2.1.1 Besaran Radiasi Matahari	8
2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Radiasi Matahari di Bumi	9
2.2 Kolektor Surya	12
2.2.1 Kolektor Pelat Datar	12
2.2.2 Kolektor Tabung	13

2.2.3	Kolektor Tabung Terkonsentrasi	15
2.3	Tinjauan Perpindahan Panas pada Kolektor	17
2.3.1	Perpindahan Panas Konduksi.....	17
2.3.2	Perpindahan Panas Konveksi.....	18
2.3.3	Perpindahan Panas Radiasi	19
2.4	Asas Black	22
2.5	Efisiensi Kolektor <i>Solar water heater</i>	22
2.6	Penelitian – penelitian Sebelumnya	23
2.6.1	Penelitian oleh Mishra, et al., (2017).....	23
2.6.2	Penelitian oleh Rafeeu, et al., (2012).....	24
2.6.3	Penelitian oleh Sagade, et al.,(2014).....	24
2.6.4	Penelitian oleh Azzouzi, et al.,(2018).....	26
2.7	Hipotesis	27
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1	Metode Penelitian	28
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2.1	Waktu Penelitian.....	28
3.2.2	Tempat Penelitian	28
3.3	Alat dan Bahan	29
3.3.1	Pembuatan Kolektor Surya	29
3.3.2	Pembuatan <i>Concentrator Parabolic</i>	31
3.3.3	Pembuatan <i>Solar water heater (Solar water heater)</i>	32
3.4	Variabel Penelitian	34
3.4.1	Variabel Bebas	34
3.4.2	Variabel Terikat	34
3.4.3	Variabel Kontrol	34
3.5	Pengamatan yang Dilakukan	34
3.6	Tahap – tahap Penelitian	35
3.6.1	Tahap Persiapan	35
3.6.2	Tahap Penelitian	35
3.6.3	Tahap Pengolahan Data	36
3.7	Diagram Alir Penelitian	38

BAB 4. PEMBAHASAN	39
4.1 Data Hasil Penelitian	39
4.1.1 Intensitas radiasi matahari	39
4.1.2 Temperatur <i>Outlet</i> Air	40
4.1.3 Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i>	41
4.1.4 Kalor yang diserap air	42
4.1.5 Kalor radiasi langsung matahari	43
4.1.6 Kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i>	44
4.1.7 Kalor radiasi <i>Parabolic Concentrator</i>	44
4.1.8 Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber	45
4.1.9 Kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang diserap absorber	45
4.1.10 Kalor yang diserap absorber	46
4.1.11 Efisiensi <i>Solar Water Heater</i>	46
4.2 Analisa Data Penelitian	47
4.2.1 Analisa data intensitas radiasi matahari	47
4.2.2 Analisa data temperatur <i>outlet</i> air	47
4.2.3 Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i>	50
4.2.4 Kalor yang diserap Air	52
4.2.5 Efisiensi <i>Solar water heater</i>	54
BAB 5. PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Distribusi radiasi matahari pada permukaan bumi (Kabir, et al., 2018) 6

Gambar 2.2 Radiasi matahari saat melewati atmosfer (Goswami , 2015) 7

Gambar 2.3 Jarak Matahari ke Bumi (Goswami , 2015) 9

Gambar 2.4 Sudut zenith, sudut azimuth permukaan, sudut kemiringan, sudut azimuth surya untuk permukaan yang miring (Duffie dan Beckman, 2013). 10

Gambar 2.5 Kolektor pelat datar (Duffie & Beckman, 2013) 13

Gambar 2.6 Kolektor tabung a.tampak samping b.tampak atas (Liang.r ,et al.,2011) 14

Gambar 2.7 Kolektor tabung (Mishra, et al., 2017) 15

Gambar 2.8 Kolektor tabung dengan *Concentrator Parabolic* (Mishra et al., 2017) 17

Gambar 2.9 Bagan pengaruh radiasi datang (Goswami , 2015) 20

Gambar 2.10 Fenomena refleksi (a) spekular (b) refleksi baur (c) refleksi sebenarnya. (Goswami , 2015) 21

Gambar 2.11 Grafik temperatur keluaran air perjam (Mishra, et al., 2017) 23

Gambar 2.12 *Dish Parabolic Concentrator* yang digunakan pada penelitian 24

Gambar 2.13 3D model dari CPC (Sagade, et al.,2014) 25

Gambar 2.14 Variasi dari *receiver temperature, outlet water temperature, total heat loss* dan *collector efficiency* (Sagade, et al.,2014) 26

Gambar 2.15 Distribusi fluks pada garis fokus di bawah iradiasi surya $970W / m^2$ 26

Gambar 3.1 Desain bagian dalam kolektor tabung (a), Kolektor tabung dengan cover (b) 29

Gambar 3.2 Desain 2D tampak atas kolektor tabung (a), Desain 2D tampak samping kolektor tabung (b) 30

Gambar 3.3 Rencana desain *Concentrator Parabolic* 31

Gambar 3.4 Dimensi <i>Concentrator Parabolic</i>	31
Gambar 3.5 Rencana desain alat <i>Solar water heater</i> energi surya	32
Gambar 3.6 Diagram tahanan panas	36
Gambar 4.1 Intensitas radiasi matahari.....	47
Gambar 4.2 Temperatur outlet air <i>Solar water heater</i> dengan laju aliran 0,007 kg/s	48
Gambar 4.3 Temperatur <i>outlet</i> air <i>Solar water heater</i> dengan laju aliran 0,004 kg/s	48
Gambar 4.4 Temperatur outlet air <i>Solar water heater</i> dengan laju aliran 0,001 kg/s	49
Gambar 4.5 Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i> pada laju aliran massa 0,007 kg/s	50
Gambar 4.6 Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i> pada laju aliran massa 0,004 kg/s	51
Gambar 4.7 Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i> pada laju aliran massa 0,001 kg/s	51
Gambar 4.8 Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,007 kg/s	52
Gambar 4.9 Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,004 kg/s	53
Gambar 4.10 Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,001 kg/s	53
Gambar 4.11 Efisiensi <i>solar water heater</i> pada laju aliran massa 0,007 kg/s	54
Gambar 4.12 Efisiensi <i>solar water heater</i> pada laju aliran massa 0,004 kg/s	55
Gambar 4.13 Efisiensi <i>solar water heater</i> pada laju aliran massa 0,001 kg/s	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Refractive index transmision</i> beberapa macam material tabung evakuasi (Duffie & Beckman, 2013).....	13
Tabel 2.2 Solar Reflectance beberapa material <i>Concentrator Parabolic</i> (Czandern et.al 1985)	16
Tabel 2.3 <i>Emissivity Coefficient</i> permukaan dari beberapa material (J. P. Holman, 2010).....	21
Tabel 4.1 Data Intensitas Radiasi Matahari	39
Tabel 4.2 Data Temperatur Outlet Air dengan Laju Aliran Massa 0,007 kg/s	40
Tabel 4.3 Data Temperatur Outlet Air dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s	40
Tabel 4.4 Data Temperatur Outlet Air dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s	41
Tabel 4.5 Data Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i> dengan Laju Aliran Massa 0,007 kg/s	41
Tabel 4.6 Data Temperatur <i>Concentrator Parabolic</i> dengan Laju Aliran Massa 0,004 kg/s	42
Tabel 4.7 Data Temperatur Outlet Air dengan Laju Aliran Massa 0,001 kg/s	42
Tabel 4.8 Data Kalor yang diserap Air	43
Tabel 4.9 Data kalor radiasi langsung matahari.....	43
Tabel 4.10 Data kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i>	44
Tabel 4.11 Data kalor radiasi parabolic concentrator	44
Tabel 4.12 Data Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber.....	45
Tabel 4.13 Data Kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang diserap absorber	45
Tabel 4.14 Data Kalor yang diserap absorber	46
Tabel 4.15 Data Efisiensi <i>Solar water heater</i>	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur pembuatan <i>Concentrator Parabolic</i>	61
Lampiran 2. Gambar pembuatan <i>Concentrator Parabolic</i>	61
Lampiran 3. Tabel data kolektor <i>Concentartor</i> alumunium dengan laju aliran massa 0,007 kg/s	63
Lampiran 4. Tabel data kolektor <i>Concentartor</i> stainless steel dengan laju aliran massa 0,007 kg/s	63
Lampiran 5. Tabel data kolektor <i>Concentartor</i> alumunium dengan laju aliran massa 0,004 kg/s	64
Lampiran 6. Tabel data kolektor <i>concentartor</i> stainless steel dengan laju aliran massa 0,004 kg/s	64
Lampiran 7. Tabel data kolektor <i>concentartor</i> alumunium dengan laju aliran massa 0,001 kg/s	65
Lampiran 8. Tabel data kolektor <i>concentartor</i> stainless steel dengan laju aliran massa 0,001 kg/s	65
Lampiran 9. Perhitungan Laju Aliran Massa Fluida.....	66
Lampiran 10. Perhitungan Kalor yang diserap air	67
Lampiran 11. Perhitungan Kalor radiasi langsung matahari.....	68
Lampiran 12. Kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i>	69
Lampiran 13. Kalor radiasi <i>Parabolic Concentrator</i>	70
Lampiran 14. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber.....	71
Lampiran 15. Kalor radiasi pantulan <i>Parabolic Concentrator</i> yang diserap absorber.....	72
Lampiran 16. Perhitungan Kalor yang diserap absorber.....	74
Lampiran 17. Perhitungan Efisiensi	75
Lampiran 18. Gambar Pembuatan kolektor dan Foto Penelitian	76

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis yang terletak pada posisi 6° LU - 11° LS didaerah garis khatulistiwa yang memiliki potensi energi surya sangat besar. Dirjen Energi Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) tahun 2016 telah melakukan penelitian dan menentukan bahwa besar radiasi penyinaran di Indonesia yaitu $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Radiasi penyinaran sebesar $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ tersebut dapat digunakan untuk menekan penggunaan energi fosil yang masih banyak di Indonesia. Pemanfaatan energi surya ditujukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar fosil.

Energi surya dalam pemanfaatan dibagi menjadi dua jenis, yaitu solar termal untuk aplikasi pemanasan dan solar *photovoltaics* untuk pembangkitan listrik. Pemanfaatan energi surya dalam pemanasan cukup banyak diantaranya dalam hal pengeringan produk, memasak, sistem ventilasi surya, distilasi surya air laut dan pemanasan air. Sistem *Solar water heater* untuk skala perumahan dan industri meningkat secara dramatis selama 1 dekade terakhir karena kekurangan sumber energi dan kenaikan emisi rumah kaca (Sharma *et al.*, 2009). Kekurangan sumber energi dan kenaikan emisi rumah kaca membuat beberapa peneliti melakukan penelitian eksperimental dan ekonomi terhadap kinerja sistem *Solar water heater* yang dibandingkan dengan pemanas elektrik (Sae-Jung *et al.*, 2015).

Renewables 2016 Global Status Report, memaparkan bahwa kapasitas kumulatif sistem *Solar water heater* (*Solar water heater, SWH*) global mencapai sekitar 435 Gb Thermal (GWth) tahun 2015. China merupakan negara pengguna *Solar water heater* terbanyak sebesar 71% diikuti oleh United States 4%, Germany 3%, Turkey 3% dan 10% oleh negara-negara lainnya. Radiasi penyinaran di Indonesia yaitu $4,80 \text{ kWh m}^2/\text{hari}$. Dari data tersebut dapat diperoleh bahwa potensi *Solar water heater* di Indonesia seharusnya dapat lebih dioptimalkan dari negara-negara yang memiliki 4 musim, akan tetapi radiasi

matahari yang berlimpah di Indonesia dibiarkan begitu saja karena keterbatasan sarana dan prasarana.

Teknologi yang telah berkembang saat ini telah banyak mendorong para peneliti untuk melakukan berbagai riset tentang *Solar water heater*. Mishra pada tahun 2017 melakukan penelitian dengan mendesain ulang jenis dari kolektor surya dan melakukan perubahan dari plat datar kolektor dengan menggunakan *Evacuated Tubular Collector (ETC)* terintegrasi dengan *Parabolic Concentrator (PC)*. *Evacuated Tubular Collector (ETC)* terintegrasi dengan *Parabolic Concentrator (PC)* lebih unggul sebab intensitas radiasi matahari yang diterima lebih terpusat kepada objek yang akan dipanaskan (Mishra *et al.*, 2017). Peneliti tidak hanya melakukan penambahan *Parabolic Concentrator* pada kolektor tetapi juga banyak yang melakukan penambahan *Phase Change Material (PCM)*. *Phase Change Material (PCM)* menawarkan kapasitas penyimpanan yang tinggi per satuan massa karena efek penyimpanan laten dari *Phase Change Material (PCM)*. *Phase Change Material (PCM)* juga menawarkan operasi isothermal selama fase pengisian dan pemakaian (Sari *et al.*, 2002; Velraj *et al.*, 1999).

Penelitian yang dilakukan oleh Mishra *et al* (2017), dengan menambahkan *Parabolic Concentrator (PC)* dari penelitian sebelumnya bertujuan untuk meningkatkan *performance Solar water heater*. Pada peneliti ini juga dilakukan perbandingan antara *experimental* dengan *teoritical* yang hasilnya nilai energi *teoritical* sedikit lebih besar dibandingkan *experimental*. penelitian yang dilakukan mishra memperoleh hasil bahwa nilai energi termal dan exergi yang dihasilkan dari *evacuated tubular collector with Parabolic Concentrator (ETC-PC)* meningkat lebih besar dari pada hanya menggunakan *evacuated tubular collector (ETC)*.

Azzouzi *et al.*, (2018) juga melakukan penelitian terhadap *concentrator parabolic*. Penelitian yang dilakukan Azzouzi *et al.*, adalah mengamati sebaran flux intensity pada *concentartor*, melakukan pengembangan pada geometri *concentrator* dan juga melakukan penambahan aluminium sebagai *reflective surface*. Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan secara teoritis dan secara *experimental*. Distribusi fluks dari hasil *experimental* dan teoritis memiliki

perbedaan sekitar 4%. Perbedaan sekitar 4% antara fluks terfokus eksperimental dan yang dihitung secara teoritis membuktikan implementasi yang baik dari konsentrator surya yang direalisasikan. Penambahan *reflektive surface aluminium* menunjukkan hasil yang baik antara permukaan utama konsentrator dan permukaan reflektif memberikan peran yang signifikan untuk memperoleh rasio konsentrasi tertinggi.

Rafeeu *et al.*, pada 2012 melakukan penelitian yang membahas termal performa dari *Parabolic Concentrators*. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 3 *Parabolic Concentrator* yang menggunakan geometri dan bahan yang berbeda-beda. Penelitian yang dilakukan Rafeeu *et al.*, secara keseluruhan hasilnya menunjukkan *Parabolic Concentrator* yang menggunakan bahan *Aluminium (Dish 1 dan 2)* memiliki efisiensi lebih dari 60% sedangkan *Parabolic Concentrator* yang menggunakan bahan *Stainless steel (Dish 3)* memiliki efisiensi sebesar 50%. *Parabolic Concentrator dish 2* menunjukkan jauh lebih efisien dibandingkan dua *Parabolic Concentrator* lainnya.

Melihat penelitian yang dilakukan oleh Mishra *et al.* (2015), Azzouzi *et al.* (2018), Rafeeu *et al.* (2012) dan yang lain, pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh variasi bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar water heater*. Pemilihan variasi bahan dari *Parabolic Concentrator* antara aluminium dan stainless steel yang sering digunakan bertujuan untuk dapat mengetahui performance tertinggi dan terendah dari masing-masing bahan yang digunakan pada *Concentrator Parabolic*. Penelitian ini juga akan melakukan perbandingan laju aliran massa fluida yang berbeda – beda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari permasalahan di atas, maka dirumuskan suatu perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar water heater*?
2. Bagaimana pengaruh laju aliran massa terhadap temperatur *outlet Solar water heater*?

3. Bagaimana pengaruh *intensitas radiasi matahari* terhadap temperatur *Concentrator Parabolic*?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh bahan *Parabolic Concentrator* terhadap performansi *Solar water heater*
2. Mengetahui pengaruh laju aliran terhadap temperatur *outlet Solar water heater*
3. Mengetahui pengaruh *intensitas radiasi matahari* terhadap temperatur *Concentrator Parabolic*

1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan tentang teknologi *Solar water heater*.
2. Dapat memberikan referensi unjuk peneliti selanjutnya dalam pemilihan bahan *Parabolic Concentrator*.
3. Memberikan kontribusi dalam pengembangan *Solar water heater*.

1.4 Batasan Masalah

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

1. *Losses* pada belokan pipa aliran air diabaikan.
2. Tandon yang digunakan diasumsikan terisolasi.
3. Diameter pipa fluida diasumsikan konstan.
4. *Heat loss* pada sambungan pipa tembaga diasumsikan tidak ada.
5. *Heat loss* didalam kolektor tabung dianggap tidak ada.
6. Sistem diasumsikan tidak memiliki kebocoran.

7. Perpindahan panas dianggap dalam keadaan *steady*.

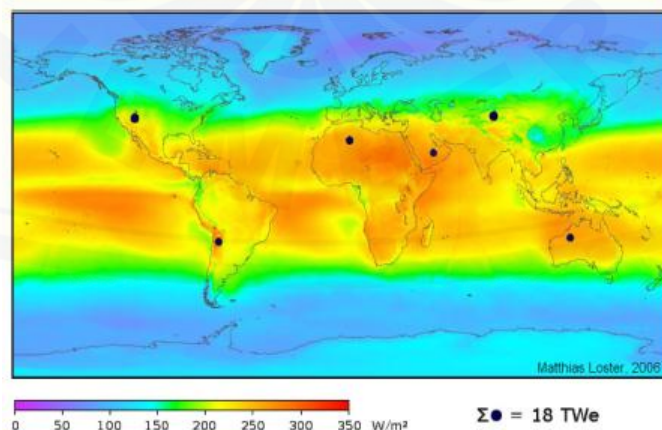


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Matahari

Radiasi Matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses fusi thermonuklir pada inti matahari yang membebaskan energi dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan berdasarkan panjang gelombang, yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar adalah semakin pendek panjang gelombangnya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi gelombang dari gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultraviolet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar infra merah.

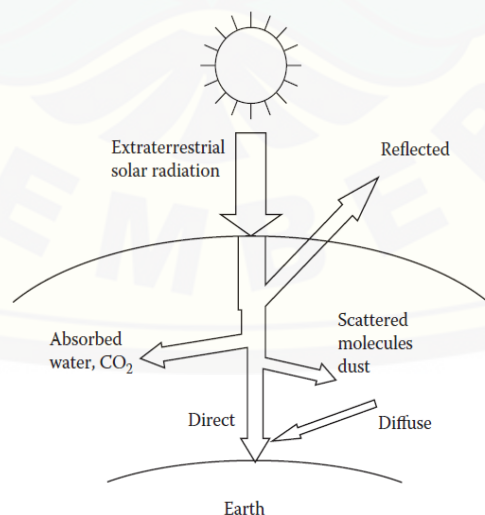
Radiasi Matahari yang terdapat pada gelombang elektromagnetik terbentuk dalam panjang gelombang mulai dari sekitar $0,3 \mu\text{m}$ hingga lebih dari $3 \mu\text{m}$. Panjang gelombang $0,3 \mu\text{m}$ hingga lebih dari $3 \mu\text{m}$ ini terdapat dalam beberapa gelombang elektromagnetik yaitu ultraviolet (kurang dari $0,4 \mu\text{m}$), cahaya tampak ($0,4$ dan $0,7 \mu\text{m}$), dan inframerah (lebih dari $0,7 \mu\text{m}$). Sebagian besar energi radiasi matahari ini terkonsentrasi di kisaran panjang gelombang cahaya tampak dan dekat inframerah.



Gambar 2.1 Distribusi radiasi matahari pada permukaan bumi (Kabir, et al., 2018)

Intensitas masuknya radiasi matahari yang melewati atmosfer bumi memiliki beberapa faktor diantaranya faktor garis lintang, iklim, dan variasi geografis). Jumlah rata-rata energi matahari yang diterima di atmosfer Bumi adalah sekitar 342 W/m^2 , di mana 30% tersebar atau dipantulkan kembali ke angkasa, meninggalkan 70% (239 W/m^2) tersedia untuk diserap. Penyinaran matahari efektif tahunan bervariasi dari 60 hingga 250 W/m^2 di seluruh dunia. Gambar 2.2 menggambarkan intensitas radiasi matahari tahunan rata-rata di atas permukaan bumi. Penelitian oleh Kabir *et al.*, (2018) telah menunjukkan bahwa area “titik hitam” dapat menyediakan lebih dari total kebutuhan energi primer seluruh dunia.

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Pengukuran oleh NASA menunjukkan nilai dari konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 . Nilai ini direvisi oleh Frohlich (1973) hingga 1377 W/m^2 , yang merupakan nilai yang digunakan dalam menyusun data SOLMET di Amerika Serikat. Besaran konstanta radiasi matahari tersebut 7,85% ($105,8 \text{ Watt/m}^2$) dipancarkan melalui sinar ultraviolet, 47,33% ($640,4 \text{ Watt/m}^2$) dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia dan 44,85% ($606,8 \text{ Watt/m}^2$) dipancarkan oleh sinar inframerah (Pudjanarsa, 2014).



Gambar 2.2 Radiasi matahari saat melewati atmosfer (Goswami , 2015)

Intensitas radiasi matahari yang melewati atmosfer sebagian akan dipantulkan kembali ke angkasa, sebagian diserap oleh udara dan uap air, dan sebagian lagi disebarkan oleh molekul udara, uap air, aerosol, dan partikel debu. Bagian dari radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi dengan tidak ada perubahan arah disebut radiasi langsung. Sedangkan radiasi yang disebarkan oleh molekul udara, uap air, aerosol, dan partikel debu disebut radiasi difusi.

2.1.1 Besaran Radiasi Matahari

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang amat sangat panas. Diameter bola matahari adalah $1,39 \times 10^6$ Kilometer, sedangkan menurut para ahli massa matahari adalah $2,2 \times 10^{27}$ ton. Lapisan luar matahari disebut fotosfer memancarkan suatu spectrum radiasi yang kontinu dengan temperatur efektif pada permukaan sebesar 5762 K sedangkan intinya mencapai temperatur 8×10^6 K sampai dengan 40×10^6 K.

Jarak rata-rata antara bumi dan matahari $R_{BM} = 1,49 \times 10^{11}$ m, sedangkan besar rapat radiasi adalah:

$$\begin{aligned} 2,0 \text{ kalori/cm}^2 \cdot \text{menit} &= 2,0 \text{ langley/menit.} \\ &= 2 \times 10^4 \text{ kalori/m}^2 \text{ menit.} \\ &= 1/3 \times 10^3 \text{ kalori/m}^2 \text{ det.} \end{aligned}$$

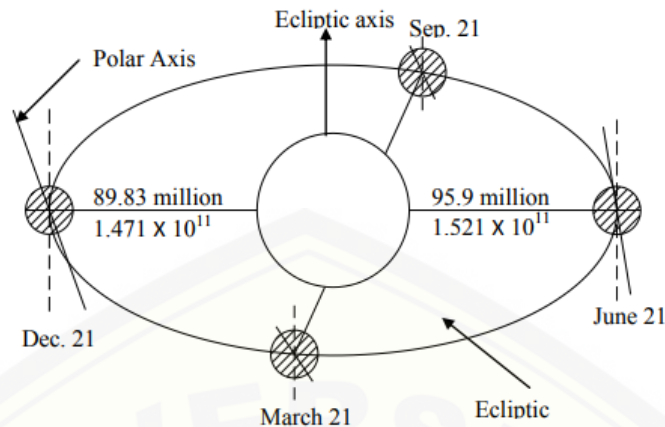
Bila dilipatkan dengan konstanta joule yang besarnya 4,184 joule/kal, maka akan dihasilkan besaran rapat radiasi matahari (S):

$$S = 1/3 \times 10^3 \times 4,186 = 1.396 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Atau

$$S = 1.396 \text{ W/m}^2 \approx 442 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam}$$

S merupakan besaran dari konstanta rapat radiasi surya pada ruang hampa angkasa, sedangkan besarnya S pada permukaan bumi hanya berkisar 947 W/m² mendekati 300 Btu/ft² jam.



Gambar 2.3 Jarak Matahari ke Bumi (Goswami , 2015)

Jarak antara bumi dan matahari berubah sepanjang tahun, minimum menjadi $1,471 \times 10^{11}$ m pada musim dingin (21 Desember) dan maksimum menjadi $1,521 \times 10^{11}$ m pada musim panas (21 Juni). Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1.308 watt/ m^2 dan 1.398 Watt/ m^2 . Energi yang dapat diserap bumi dengan berpedoman pada luas penampang bumi dan yang berputar sepanjang tahun adalah $751 \times 10^{15} \text{ kW/jam}$ (Goswami , 2015).

2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Radiasi Matahari di Bumi

Faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari pada permukaan bumi adalah:

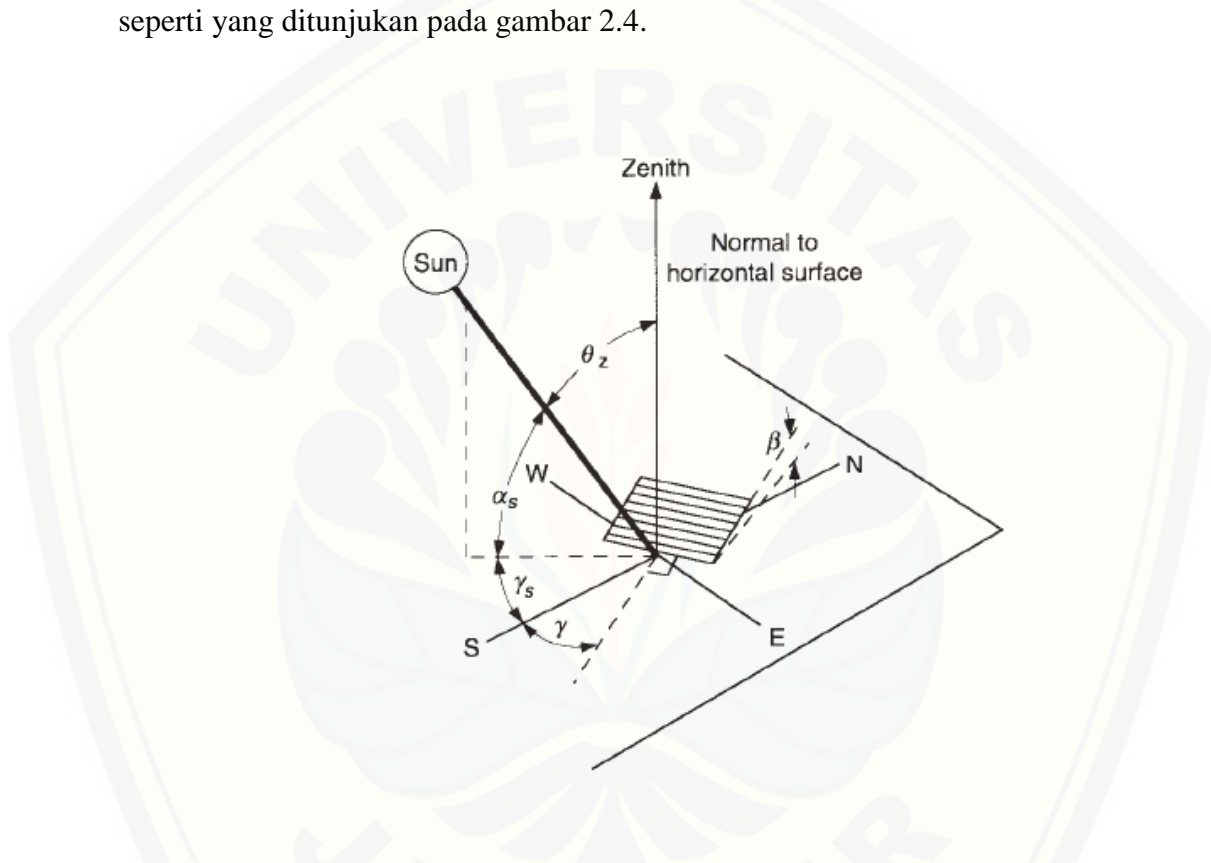
a. Posisi matahari

Sepanjang bumi mengelilingi matahari pada suatu lintasan yang berbentuk elips, yang biasanya disebut dengan bidang “Ekliptika”. Bidang Ekliptika ini membentuk sudut $23,5^\circ$ terhadap bidang equator. Peredaran bumi mengelilingi matahari pada bidang ekliptika menimbulkan perubahan-perubahan musim. Indonesia sendiri mengalami dua perubahan musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Musim hujan terjadi apabila kedudukan matahari paling jauh di selatan untuk belahan bumi bagian utara, ini terjadi pada bulan desember.

Kedudukan musim panas yaitu pada waktu kedudukan matahari berada pada titik paling utara, terjadi pada bulan juni.

b. Lokasi dan kemiringan permukaan

Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi pada permukaan tersebut. Hubungan geometrik antara sebuah permukaan dengan radiasi matahari yang datang dapat dinyatakan dalam beberapa sudut seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sudut zenith, sudut azimuth permukaan, sudut kemiringan, sudut azimuth surya untuk permukaan yang miring (Duffie dan Beckman, 2013).

Berikut ini adalah beberapa pengertian sudut-sudut dalam hubungannya dengan posisi permukaan kolektor (Duffie dan Beckman, 2013) :

φ = Sudut lintang atau (*latitude*), lokasi sudut utara atau selatan dari khatulistiwa.

θ = Sudut datang radiasi (*angel of incident*), sudut antara radiasi sinar di permukaan dan normal ke permukaan tersebut.

θ_z = Sudut zenith (*zenith angle*), yaitu sudut antara garis vertikal dan garis ke matahari. Besarnya sudut zenit dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\omega) \dots\dots\dots(2.2)$$

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

β = Sudut kemiringan (*Slope*), yaitu sudut antara kolektor terhadap horisontal.

ω = Sudut jam (*hour of angel*) merupakan perpindahan sudut matahari timur atau barat dari meridian lokal karena rotasi bumi pada sumbunya.

γ = Sudut azimuth permukaan (*Surface azimuth angle*), antara proyeksi permukaan pada bidang horizontal dengan meridian, titik nol diselatan, negatif timur, positif barat.

δ = Deklinasi (*Declination*), posisi sudut matahari pada siang hari matahari (yaitu ketika matahari berada di meridian lokal) sehubungan dengan bidang khatulistiwa. Sudut deklinasi dapat juga ditentukan dengan rumus:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana n adalah nomer urutan hari dalam satu tahun dimulai 1 januari.

c. Keadaan cuaca

Jumlah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor karena melewati atmosfer. Sebagian Radiasi matahari akan diserap oleh udara dan uap air, dan sebagian lagi disebarkan oleh molekul udara, uap air, aerosol, dan partikel debu. Sehingga radiasi matahari cukup dipengaruhi dari bentuk dan jenis awan yang terjadi pada saat itu.

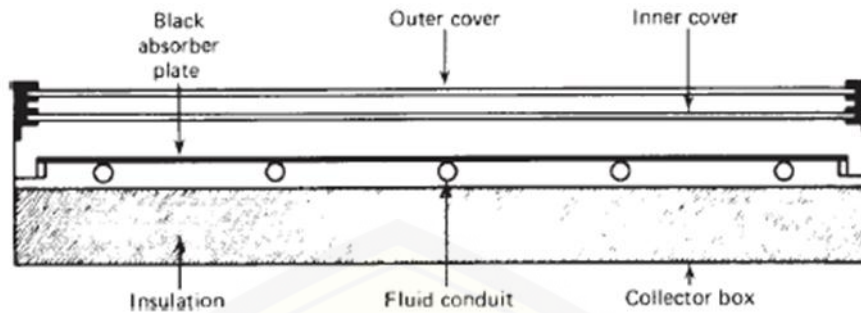
2.2 Kolektor Surya

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam kolektor surya untuk kemudian dimanfaatkan guna berbagai aplikasi. Kolektor surya yang digunakan dalam *Solar water heater* secara umum ada 3 jenis, yaitu kolektor pelat datar, kolektor tabung dan Kolektor surya terkonsentrasi.

2.2.1 Kolektor Pelat Datar

Kolektor pelat datar adalah jenis kolektor surya yang mempunyai tipikal pelat datar seperti pada gambar 2.5 . Kolektor pelat datar merupakan sebuah kotak yang terdiri dari (Duffie & Beckman, 2013):

- a. Pelat datar berfungsi sebagai absorber energi panas menuju fluida kerja. Pelat datar yang ideal umumnya memiliki permukaan dengan tingkat absorptivitas yang tinggi guna menyerap radiasi matahari sebanyak mungkin.
- b. Penutup transparan untuk mengurangi kerugian panas dengan maksud menghindari konveksi dan *losses* radiasi ke atmosfer . Penutup transparan di harapkan memiliki sifat transmisivitas yang tinggi dan sifat *absorptivitas* serta *reflektivitas* serendah mungkin.
- c. Pipa (*tube*) yang berfungsi sebagai tempat fluida kerja mengalir.
- d. Fluida kerja untuk menyerap panas dari *tube* dan pelat datar penyerap panas .
- e. Isolasi merupakan material dengan sifat konduktivitas termal (K) rendah, dipergunakan untuk menghindari terjadinya kehilangan panas ke lingkungan.



Gambar 2.5 Kolektor pelat datar (Duffie & Beckman, 2013)

2.2.2 Kolektor Tabung

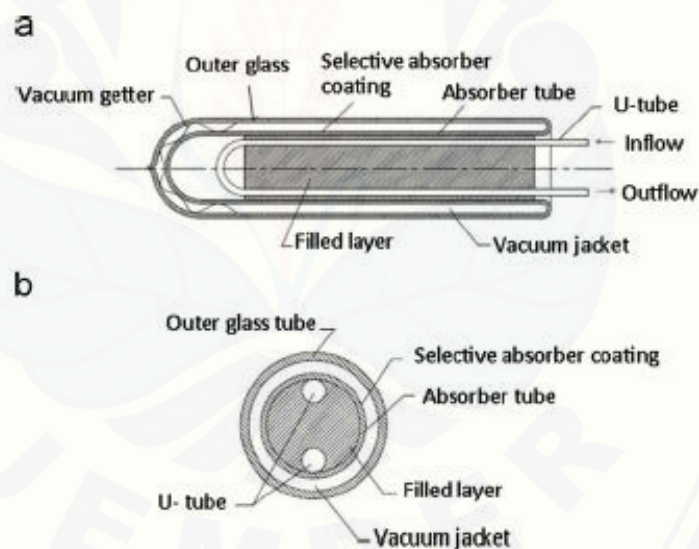
Kolektor tabung telah digunakan secara komersial selama lebih dari 20 tahun. Kolektor Tabung telah menjadi komponen penting dalam pemanfaatan energi matahari, karena memiliki efisiensi ekstraksi panas yang tinggi dan kehilangan panas yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan kolektor surya pelat datar. Kolektor tabung memang memiliki kinerja yang lebih baik dalam menghasilkan suhu tinggi bila dibandingkan dengan kolektor pelat datar, tetapi kolektor tabung tidak kompetitif karena biaya awal yang tinggi. Kolektor Tabung terdiri dari: tabung evakuasi untuk meminimalkan kehilangan panas konveksi, pipa tembaga untuk menyerap panas secara cepat, dan casing aluminium untuk memberi ketahanan dan integritas struktural pada sistem (Shukla, 2013). Kolektor tabung juga dapat meminimalkan kerugian panas akibat konveksi dan radiasi (Hossain, 2011).

Tabel 2.1 *Refractive index transmission* beberapa macam material tabung evakuasi (Duffie & Beckman, 2013)

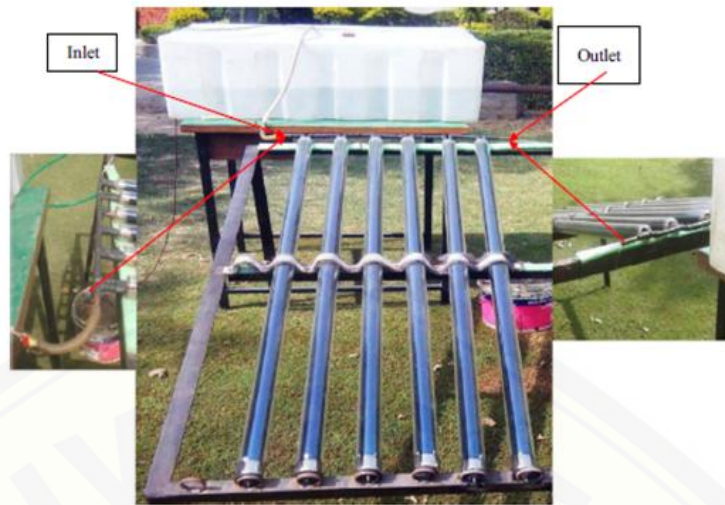
Cover Material	Average (n)
Glass	1,526
Polymethyl methacrylate	1,49
polyvinylfluoride	1,45
Polyfluorinated ethylene propylene	1,34
polytetrafluoroethylene	1,37
polycarbonate	1,60

Salah satu faktor desain penting untuk kolektor tabung adalah bentuk tabung penyerap (Kim dan Seo, 2007). Pada penelitian Perez *et al*, tahun 1995 mengkonfirmasi bahwa kolektor tabung dengan tabung penyerap berbentuk semi silinder dapat menyerap energi sekitar 16% lebih banyak daripada kolektor tabung dengan tabung penyerap berbentuk piring datar.

Kim dan Seo (2007) juga memperkenalkan beberapa desain tabung penyerap yang efisien dan menyelidiki kinerja dari empat bentuk tabung penyerap yang berbeda. Tabung penyerap yang diinvestigasi adalah: tabung bersirip, tabung U dilas di dalam sirip lingkaran, tabung U dilas pada pelat tembaga, dan tabung U dilas di dalam kotak persegi panjang. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa tabung U dilas di dalam sirip melingkar memberikan kinerja terbaik di antara empat kolektor yang berbeda.



Gambar 2.6 Kolektor tabung a.tampak samping b.tampak atas (Liang, *et al.*, 2011)



Gambar 2.7 Kolektor tabung (Mishra, *et al.*, 2017)

Dalam sistem *Solar water heater* tabung yang menggunakan pipa U sebagai media transfer panas, panas yang diserap oleh kolektor berpindah secara konveksi karena air yang mengalir di dalam pipa U. Energi yang diserap oleh air menyebabkan temperatur air menjadi naik dengan bertahap. Energi panas yang berpindah ini dinamakan energi berguna. Energi berguna dalam suatu *Solar water heater* dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Muthukumar, *et al.*, 2016).

$$Q_{\text{berguna}} = \dot{m} c_p (T_{\text{air masukan}} - T_{\text{air keluaran}}) \dots\dots\dots(2.4)$$

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

2.2.3 Kolektor Tabung Terkonsentrasi

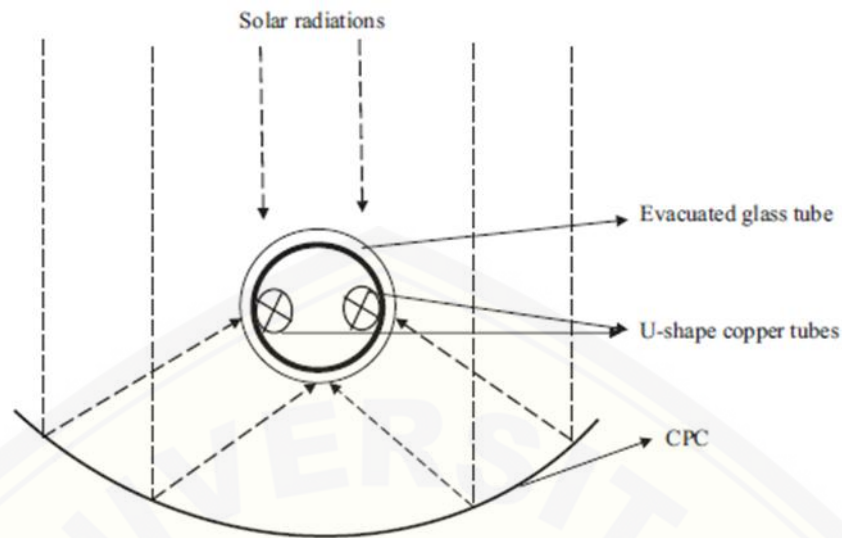
Kolektor pelat datar dan kolektor tabung banyak digunakan dalam aplikasi kolektor surya, terutama untuk memberikan suhu rendah sampai menengah (20°C sampai 120°C). Namun, untuk mencapai suhu di atas kisaran tersebut, *Concentrator* / reflektor harus digunakan untuk memaksimalkan radiasi matahari

untuk meningkatkan suhu menjadi lebih tinggi. Kolektor surya terkonsentrasi adalah kolektor surya yang dilengkapi dengan *Concentrator Parabolic* yang memiliki kemampuan untuk mencerminkan sebagian besar radiasi pada absorber (Shukla *et al.*, 2013). Tujuan utama dalam penambahan reflektor sebagai pengkonsentrasi pada kolektor surya adalah untuk menaikkan performansi dengan mengurangi *heat loss* (Ronneld *et al.*, 1996). Selain dapat mengurangi *heat loss* penambahan *Concentrator Parabolic* jugak mampu meningkatkan termal efisiensi dan *charging efficiency* (Felinski *et al.*, 2017).

Tabel 2.2 *Solar Reflectance* beberapa material *Concentrator Parabolic* (Czandern *et,al* 1985)

Material	Solar Reflectance
Silver	0,98
Aluminum	0,92
Gold	0,85
Nickel, Chromium, Stainless Steel, Rhodium, And Copper	under 0,82

Pada kolektor surya terkonsentrasi reflektivitas sangat menjadi penentu dalam mencerminkan sebagian besar radiasi pada absorber. Reflektivitas adalah kemampuan suatu benda untuk memantulkan gelombang elektromagnetik yang terpapar pada permukaan benda tersebut. Setiap benda mempunyai kemampuan yang berbeda untuk memantulkan gelombang cahaya. Selain reflektivitas ada faktor lain yang cukup berpengaruh pada material *Parabolic Concentrator* yaitu emisivitas. Emisivitas adalah kemampuan suatu benda untuk memancarkan energi radiasi per satuan luas per satuan waktu.



Gambar 2.8 Kolektor tabung dengan *Concentrator Parabolic* (Mishra *et al.*, 2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Mishra *et al.*, (2017) menunjukkan hasil yang sangat signifikan apabila dibandingkan antara kolektor terkonsentrasi dengan kolektor tanpa konsentrasi *Parabolic* pada penelitian Mishra sebelumnya. Temperatur air di sisi *outlet* terbukti lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa energi termal yang didapatkan lebih banyak apabila menggunakan reflektor *Parabolic* sebagai *Concentrator*.

2.3 Tinjauan Perpindahan Panas pada Kolektor

Perpindahan panas atau *heat transfer* adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur diantara beda atau material. Panas berpindah dari medium yang bertemperatur lebih tinggi ke medium yang temperaturnya lebih rendah. Perpindahan panas akan berlangsung hingga ada kesetimbangan temperatur diantara kedua medium tersebut.

2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

Jika pada suatu benda atau material terdapat perbedaan gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan energi kalor dari bagian benda yang memiliki temperatur tinggi menuju ke bagian yang bertemperatur lebih rendah.

Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan hukum Fourier (Jasjfi,1988).

$$q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan q ialah laju perpindahan panas dan $\frac{dT}{dx}$ merupakan gradien suhu kearah perpindahan kalor. k adalah konduktivitas termal benda, A adalah luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas.

2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

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

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

dimana h adalah koefisien konveksi ($W/(m^2.K)$), A adalah luasan permukaan (m^2), q adalah laju perpindahan panas (W), T_w dan T_f masing – masing adalah temperatur dinding dan temperature fluida (K). koefisien konveksi h dinyatakan dengan parameter tanpa dimensi yang dapat dihitung dengan rumus (Artono 2002):

$$h = \frac{N_u.k}{D} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana N_u adalah bilangan Nusselt, k adalah Konduktifitas Termal ($W/m^{\circ}C$) dan D adalah diameter silinder (m)

Untuk tabung pemanas surya yang mengalami konveksi dengan udara bilangan Nusselt dapat dihitung dengan persamaan (Artono 2002) :

$$N_u = \left[0,4 Re^{0,5} + 0,06 Re^{\frac{2}{3}} \right] P_r^{0,4} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana Re adalah Bilangan Reynold dan P_r adalah Prandtl number.

Bilangan Reynold sendiri dapat diperoleh dengan rumus (Artono 2002):

$$Re = \frac{u_{\infty} D}{\nu} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan Re adalah bilangan Reynold, u_{∞} adalah kecepatan aliran bebas dari fluida (m/s), D adalah diameter pipa (m), ν adalah Difusivitas termal (m²/s).

Pada *Solar water heater* dengan kolektor tabung yang mengalami konveksi dengan udara maka dapat menggunakan $P_r=0,7$; $k = 0,0262$ W/m°C dan $\nu = 15,69 \times 10^{-6}$ m²/s.

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi atau sinaran termal (*thermal radiation*) ialah salah satu jenis energi elektromagnetik, dan semua benda memancarkan radiasi termal berdasarkan suhu mereka. Ketika sebuah benda dipanaskan, atom, molekul, atau elektronnya meningkat ke tingkat aktivitas yang lebih tinggi yang disebut keadaan tereksitasi. Namun mereka cenderung kembali ke keadaan energi rendah, dan dalam proses ini energi dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam energi dihasilkan dari penyusunan ulang *electronic*, *rotational*, dan *vibrational* dalam atom dan molekul. Karena penyusunan ulang ini melibatkan jumlah perubahan energi yang berbeda dan perubahan energi ini terkait dengan frekuensi, radiasi yang dipancarkan oleh permukaan didistribusikan ke berbagai rentang panjang gelombang radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena adanya perbedaan temperatur.

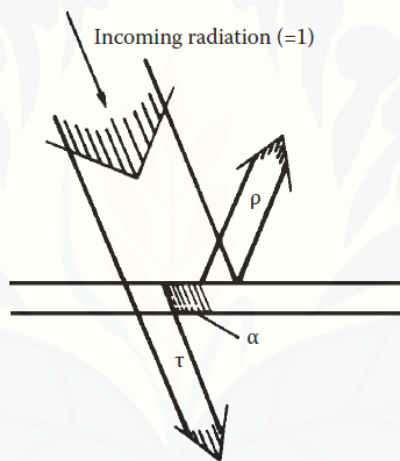
Ketika radiasi matahari menimpa suatu permukaan, maka sebagian darinya dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi) dan, jika materi itu transparan maka sebagian ditransmisikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Fraksi dari radiasi pantulan didefinisikan sebagai reflektivitas ρ , fraksi yang diserap

sebagai absorptivitas α , dan fraksi ditransmisikan sebagai transmittivitas τ . Menurut hukum pertama termodinamika, ketiga komponen ini harus ditambahkan ke kesatuan, atau

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \dots\dots\dots(2.10)$$

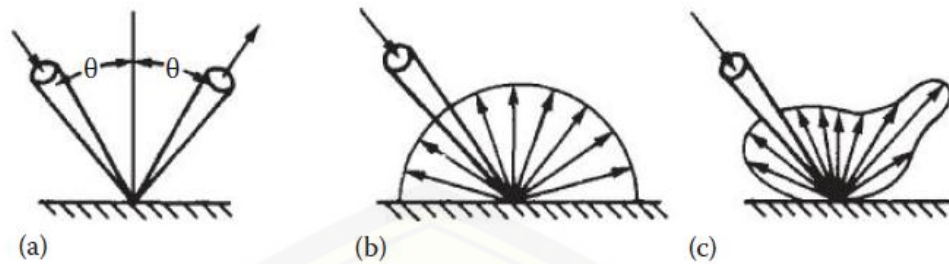
Benda padat yang tidak mampu meneruskan radiasi termal memiliki $\tau = 0$ Sehingga,

$$\rho + \alpha = 1 \dots\dots\dots(2.11)$$



Gambar 2.9 Bagan pengaruh radiasi datang (Goswami , 2015)

Refleksi dari radiasi dapat bersifat spekulat atau baur. Ketika sudut insidensinya sama dengan sudut pantulan, refleksi tersebut disebut spekulat (*specular*), ketika radiasi yang dipantulkan secara merata didistribusikan ke semua arah, ini disebut refleksi baur (*diffuse*). Tetapi refleksi yang sebenarnya terjadi tidak ada permukaan yang mampu melakukan spekulat atau baur, tetapi permukaan yang sangat poles mendekati refleksi spekulat, sedangkan permukaan kasar memantulkan secara dibaur (Goswami , 2015).



Gambar 2.10 Fenomena refleksi (a) spekulat (b) refleksi baur (c) refleksi sebenarnya.
(Goswami , 2015)

Tabel 2.3 *Emissivity Coefficient* permukaan dari beberapa material (J. P. Holman, 2010)

Surface	$T, ^\circ\text{F}$	Emissivity ϵ
Metals and their oxides		
Aluminum:		
Highly polished plate, 98.3% pure	440–1070	0.039–0.057
Commercial sheet	212	0.09
Heavily oxidized	299–940	0.20–0.31
Al-surfaced roofing	100	0.216
Brass:		
Highly polished:		
73.2% Cu, 26.7% Zn	476–674	0.028–0.031
62.4% Cu, 36.8% Zn, 0.4% Pb, 0.3% Al	494–710	0.033–0.037
82.9% Cu, 17.0% Zn	530	0.030
Hard-rolled, polished, but direction of polishing visible	70	0.038
Dull plate	120–660	0.22
Chromium (see nickel alloys for Ni-Cr steels), polished	100–2000	0.08–0.36
Copper:		
Polished	242	0.023
	212	0.052
Plate, heated long time, covered with thick oxide layer	77	0.78
Stainless steels:		
Polished	212	0.074
Type 301; B	450–1725	0.54–0.63

Daya emisivitas suatu benda ialah energi yang dipancarkan benda itu per satuan luas per satuan waktu. Besarnya emisivitas tidak hanya menentukan kemampuan suatu benda dalam memancarkan kalor tetapi juga kemampuan suatu benda dalam menyerap kalor yang dipancarkan oleh benda lain. Benda yang memiliki emisivitas mendekati 1 (benda yang berwarna gelap) menyerap hampir semua kalor yang dipancarkan padanya dan hanya sebagian kecil saja yang dipantulkan. Sebaliknya, benda yang memiliki emisivitas mendekati 0 (benda

yang berwarna terang) menyerap sedikit kalor yang dipancarkan padanya dan sebagian besar kalor dipantulkan oleh benda tersebut (jasjfi, 1993).

Radiasi dipancarkan oleh permukaan yang memiliki energi termal. Perpindahan panas radiasi ini terjadi tanpa melalui media perantara dan terjadi di ruang hampa. Radiasi termal antara dua benda hitam adalah (jasjfi, 1993):

$$q = \sigma e A T^4 \dots\dots\dots(2.12)$$

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

2.4 Asas Black

Asas Black merupakan salah satu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh salah satu tokoh bernama Joseph Black. Banyaknya energi kalor dinotasikan sebagai Q dan diukur dalam satuan Joule. (Saputra, 2017)

$$Q = m c \Delta T \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

Q = Banyaknya kalor (Joule)

m = Massa benda (kg)

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

ΔT = Perbedaan temperatur

2.5 Efisiensi Kolektor *Solar water heater*

Performansi termal dari sebuah kolektor tabung dapat dihitung menggunakan persamaan efisiensi (η). Efisiensi dari kolektor tabung surya merupakan perbandingan antara panas yang diserap oleh air sebagai fluida kerja dengan radiasi matahari yang diserap oleh luasan kolektor tersebut (Rafeeu & kadir, 2012)

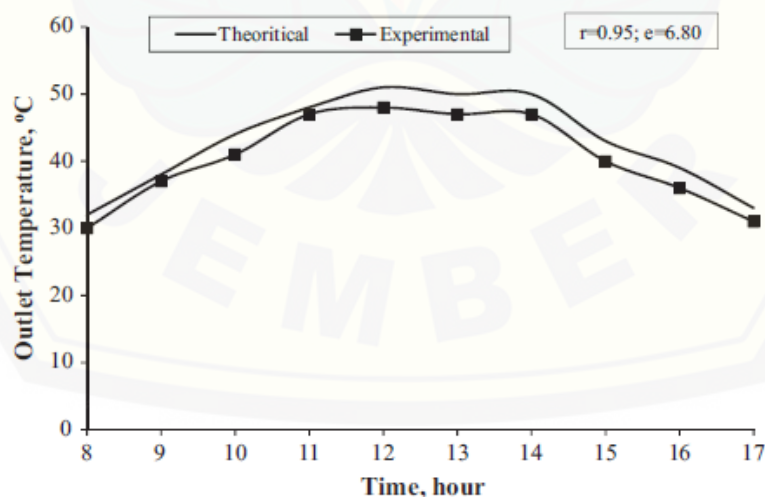
$$\eta = \frac{Q_{\text{berguna}}}{n I A_{\text{cov}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan $Q_{berguna}$ merupakan panas yang diserap fluida kerja, I merupakan intensitas radiasi matahari yang diserap oleh kolektor, n adalah jumlah kolektor dan A_{cov} adalah luasan dari kolektor yang digunakan.

2.6 Penelitian – penelitian Sebelumnya

2.6.1 Penelitian oleh Mishra, *et al.*, (2017)

Penelitian Mishra *et al.*, dilakukan dengan menambahkan *compound Parabolic Concentrator (CPC)* dari penelitian sebelumnya tahun 2015 bertujuan untuk meningkatkan *Performance Solar Water Heater*. Pada peneliti ini dilakukan perbandingan antara *experimental* dengan *teoritical* yang hasilnya nilai *outlet temperatur teoritical* sedikit lebih besar dibandingkan *experimental*. Dari penelitian ini juga diperoleh bahwa nilai energi termal dan exergi yang dihasilkan dari *Evacuated Tubular Collector with Compound Parabolic Concentrator (ETC-CPC)* meningkat lebih besar dari pada hanya menggunakan *Evacuated Tubular Collector (ETC)*. Hasil penelitian dengan menggunakan 6 kolektor dan laju aliran massa 0,01 kg/s (Gambar 2.11) dapat dibandingkan bahwa antara *experimental* dengan *teoritical* yang hasilnya nilai *outlet temperatur teoritical* sedikit lebih besar dibandingkan *experimental*.



Gambar 2.11 Grafik temperatur keluaran air perjam (Mishra, *et al.*, 2017)

2.6.2 Penelitian oleh Rafeeu, *et al.*, (2012)

Penelitian ini dilakukan dengan membuat 3 *dish Parabolic Concentrator* yang menggunakan geometri dan bahan yang berbeda-beda. Secara keseluruhan hasilnya menunjukkan *dish Parabolic Concentrator* yang menggunakan bahan *Aluminium film* (*Dish 1* dan *2*) memiliki efisiensi lebih dari 60% sedangkan *Parabolic Concentrator* yang menggunakan bahan *Stainless Steel* (*Dish 3*) memiliki efisiensi sebesar 50%. Selanjutnya, hasil yang diperoleh *Parabolic Concentrator dish 2* menunjukkan jauh lebih efisien dibanding dua *Parabolic Concentrator* lainnya.



Gambar 2.12 *Dish Parabolic Concentrator* yang digunakan pada penelitian (Rafeeu *et al.*,2012)

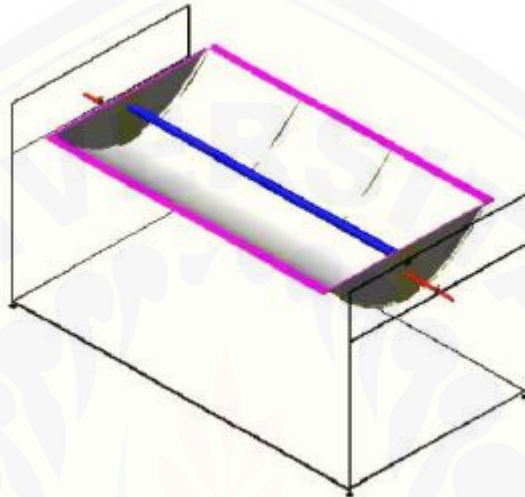
Penelitian Rafeeu *et al.*, juga menyarankan perbaikan beberapa faktor untuk meningkatkan efisiensi seperti berikut :

- Meningkatkan ketepatan geometris *Parabolic*.
- Menggunakan film reflektif dengan reflektifitas yang lebih tinggi dan memperbaiki teknologi tempel atau menggunakan lapisan teknologi aluminium yang anodised sehingga reflektivitas dapat meningkat.
- Menggunakan sistem pelacakan yang efisien dan akurat.
- Menemukan titik fokus yang akurat.

2.6.3 Penelitian oleh Sagade *et al.*,(2014)

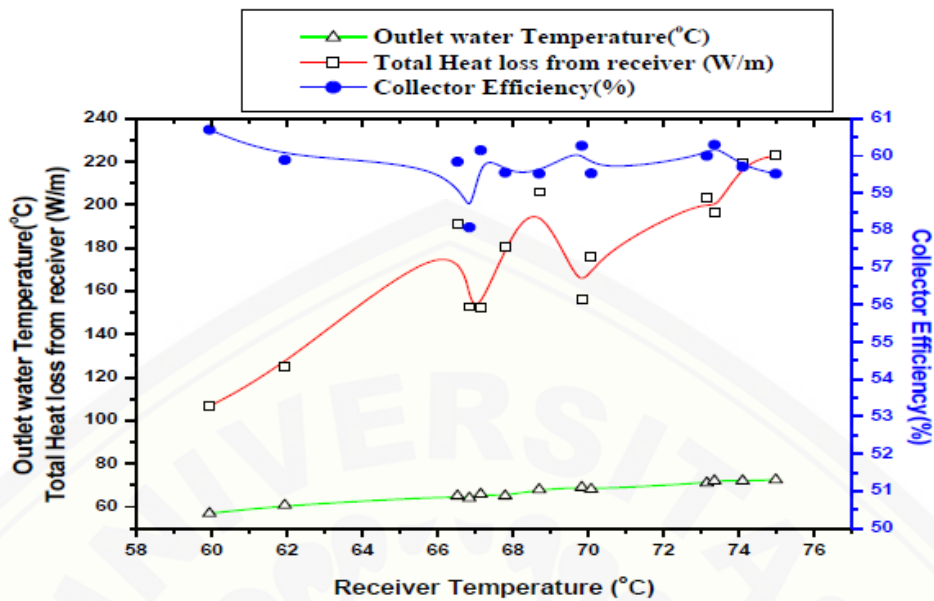
Penelitian ini membahas hasil eksperimental dari prototipe *Parabolic Concentrator* melalui kolektor surya yang terbuat dari baja ringan (*mild steel*) dan permukaannya dilapisi dengan *aluminium foil* dengan ketebalan 10 mikron

sebagai permukaan selektif. Prototipe ini telah diuji sebagai lapisan atas untuk aplikasi *Solar Water Heater* dan uap instan. Sistem cover konsentrator dapat meningkatkan umur lapisan permukaan dan pelapis penerima dengan mengurangi kehilangan panas dari absorber.



Gambar 2.13 3D model dari CPC (Sagade, et al.,2014)

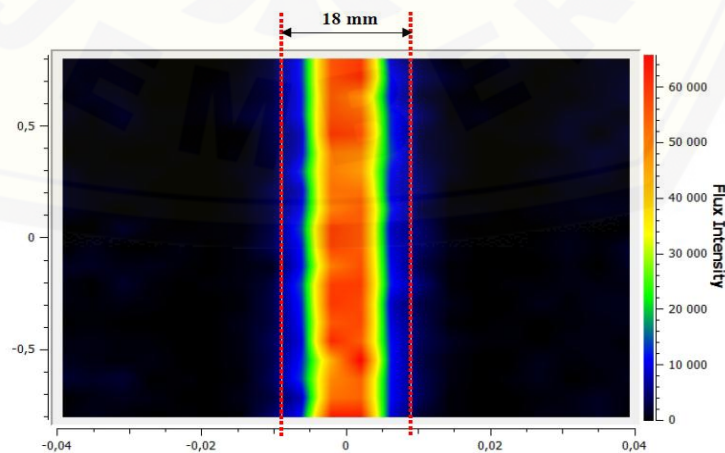
Sistem solar kolektor ini menghasilkan efisiensi rata-rata 59,8% dengan laju alir massa 0,011Kg/S. Telah terlihat bahwa ada rata-rata 20% kehilangan panas per meter panjang absorber. Rata-rata panas yang diperoleh air adalah 850W terhadap kehilangan panas rata-rata 176 W per meter. Telah diamati juga bahwa, suhu rata-rata 68°C dicapai oleh penerima dilapisi tembaga hitam dengan suhu maksimum 76°C. Percobaan lapangan aktual untuk evaluasi kinerja sistem prototipe dilakukan selama bulan April dan Mei 2012 di universitas Shivaji, Kolhapur. Untuk kondisi iklim yang lebih panas, sistem jenis ini mungkin bermain peran penting dalam aplikasi pemanasan proses industri.



Gambar 2.14 Variasi dari *receiver temperature*, *outlet water temperature*, *total heat loss* dan *collector efficiency* (Sagade, et al.,2014)

2.6.4 Penelitian oleh Azzouzi *et al.*,(2018)

Penelitian yang dilakukan azzouzi *et al.*, adalah mengamati sebaran *flux intensity* pada *Concentartor*, melakukan pengembangan pada geometri *concentrator* dan juga melakukan penambahan aluminium sebagai *reflective surface*. Penelitian ini dilakukan perhitungan secara teoritis dan secara *experimental*.



Gambar 2.15 Distribusi *fluks* pada garis fokus di bawah iradiasi surya $970\text{W} / \text{m}^2$

Distribusi *fluks* dari hasil experimental dan teoritis memiliki perbedaan sekitar 4%. Perbedaan sekitar 4% antara *fluks* terfokus eksperimental dan yang dihitung secara teoritis membuktikan implementasi yang baik dari konzentrador surya yang direalisasikan. Penambahan reflektif surface menunjukkan hasil yang baik antara permukaan utama konzentrador dan permukaan reflektif memberikan peran yang signifikan untuk memperoleh rasio konsentrasi tertinggi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa tahapan proses desain dari konzentrador parabolik melalui realisasi penelitian ini dapat diadopsi dengan ketepatan yang dapat diterima.

2.7 Hipotesis

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

- a. Bahan *Concentrator Parabolic* yang memiliki *Solar Reflectance* tinggi mampu menghasilkan energi pantulan yang lebih besar.
- b. Efisiensi kolektor *Concentrator Parabolic* bahan aluminium lebih tinggi daripada bahan *Stainless Steel*.

Dengan beberapa konteks tersebut dapat disimpulkan bahwa masih perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap bahan dari *Concentrator Parabolic* sehingga dapat meningkatkan efisiensi kolektor surya.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Metode ini digunakan dalam menguji temperatur keluaran air dari *Solar Water Heater* dan membandingkan efisiensi antara *Solar Water Heater* yang menggunakan *Concentrator Parabolic* aluminium dan dengan menggunakan *Concentrator Parabolic* Stainless Steel.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

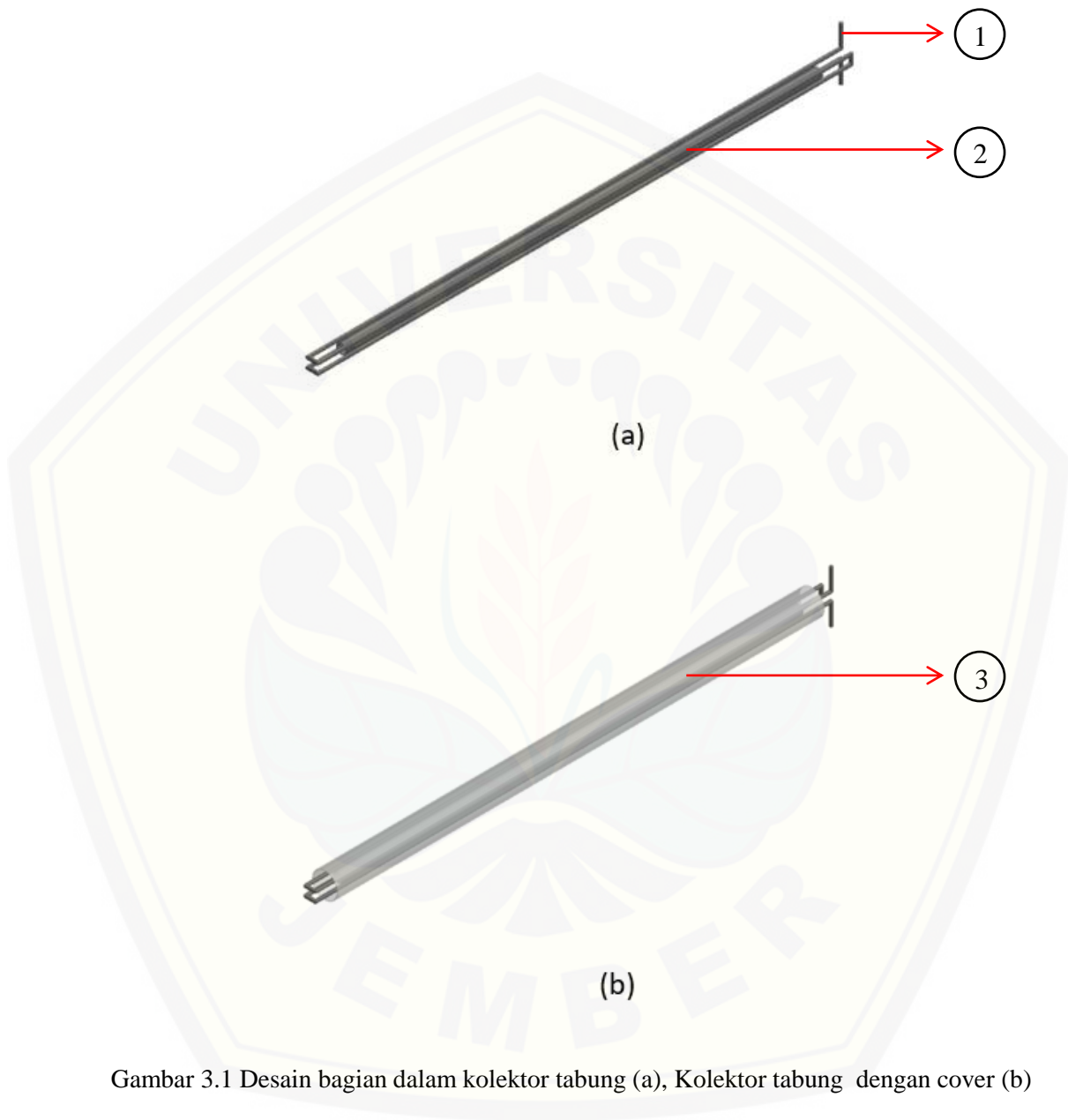
Penelitian ini akan dilakukan pada bulan januari 2018 sampai dengan bulan mei 2018.

3.2.2 Tempat Penelitian

- a. Pembuatan kolektor surya dilakukan di Laboratorium Konversi Energi. Pengambilan *sample* data akan dilakukan di Halaman Perumahan.
- b. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

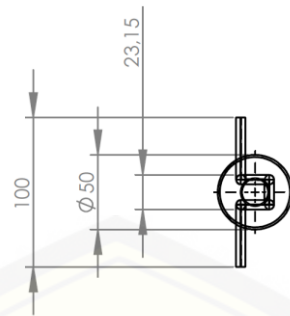
3.3.1 Pembuatan Kolektor Surya



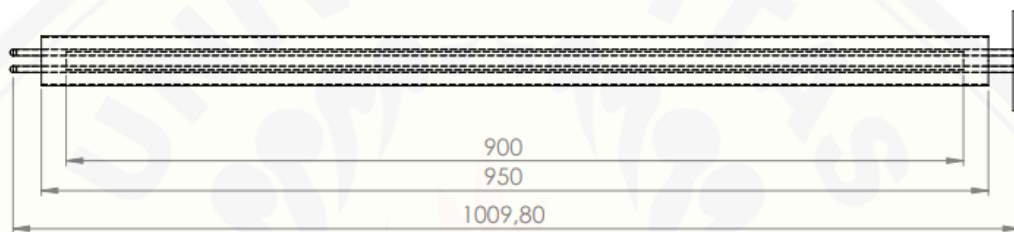
Gambar 3.1 Desain bagian dalam kolektor tabung (a), Kolektor tabung dengan cover (b)

Keterangan:

1. Pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inci
2. Pipa tembaga berdiameter $\frac{3}{4}$ inci
3. Pipa akrilik berdiameter 5 cm



(a)



(b)

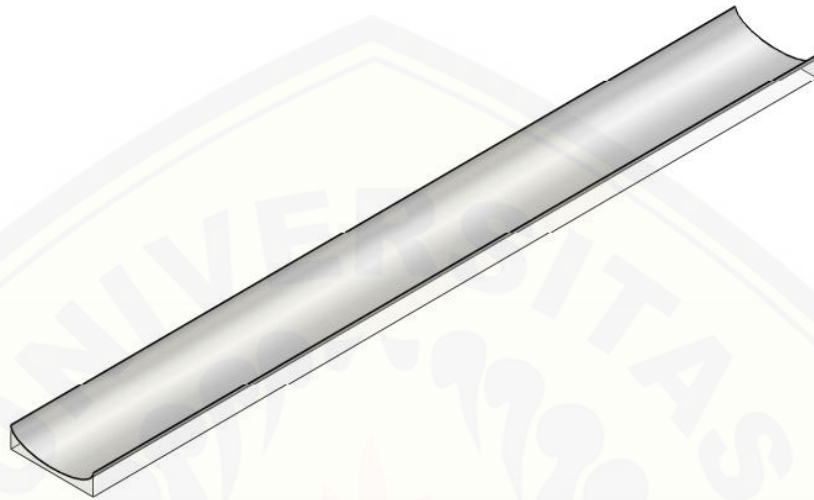
Gambar 3.2 Desain 2D tampak atas kolektor tabung (a), Desain 2D tampak samping kolektor tabung (b)

- a. Alat yang digunakan :
- 1) Gerinda
 - 2) Las butana
 - 3) Meteran
 - 4) Tang jepit
 - 5) Busur derajat
 - 6) Perkat
- b. Bahan yang digunakan :
- 1) Pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inci
 - 2) Pipa tembaga berdiameter $\frac{3}{4}$ inci
 - 3) *Knee* pipa tembaga untuok diameter $\frac{1}{4}$ inci
 - 4) Gas butana
 - 5) Korek api

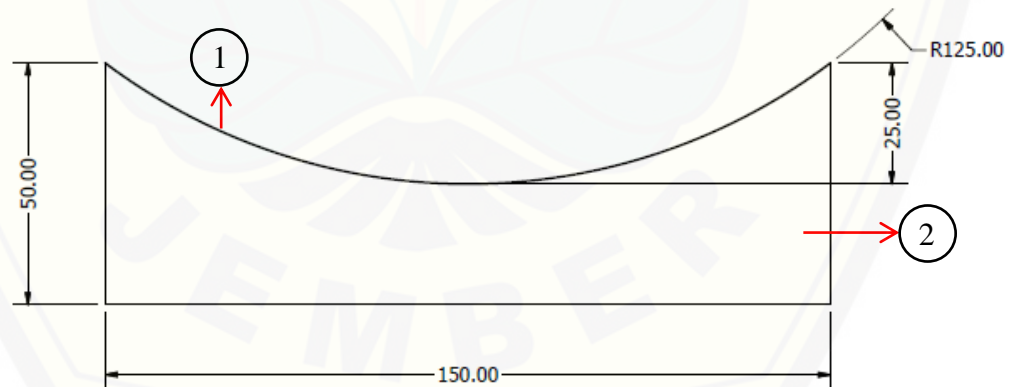
6) Pipa akrilik berdiameter 5 cm

7) Cat

3.3.2 Pembuatan *Concentrator Parabolic*



Gambar 3.3 Rencana desain *Concentrator Parabolic*



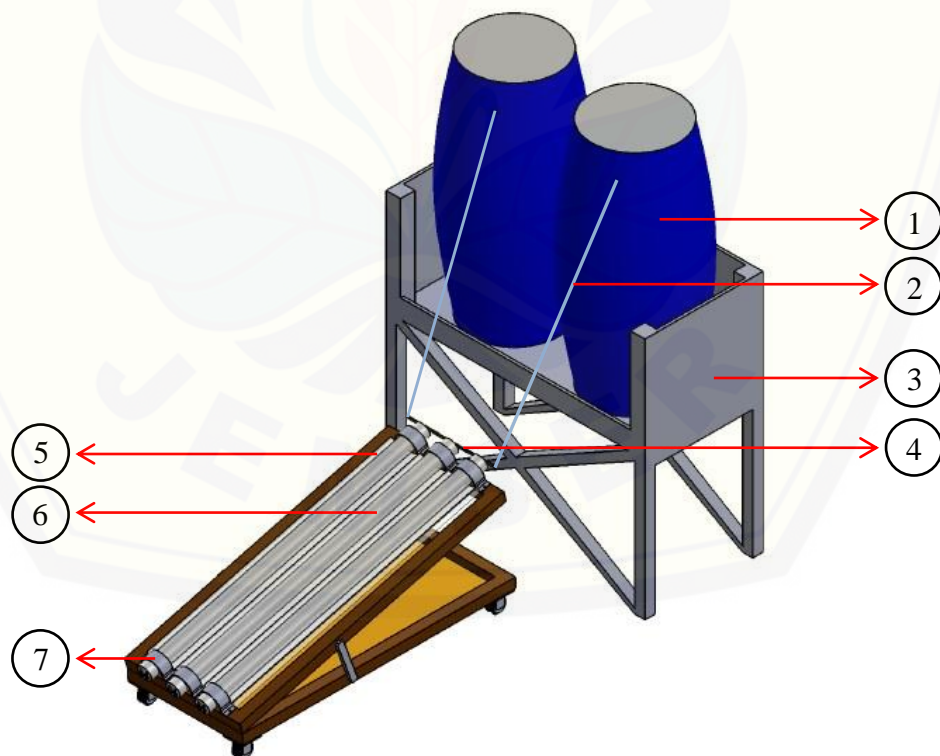
Gambar 3.4 Dimensi *Concentrator Parabolic*

Keterangan:

- 1) Plat *Concentrator*
- 2) *Styrofoam*

- a. Alat yang digunakan :
- 1) Gerinda
 - 2) Meteran
 - 3) *Thermoreader*
 - 4) Kabel *thermocouple*
 - 5) Gunting pelat
- b. Bahan yang digunakan :
- 1) Plat lembaran aluminium 0,3 mm
 - 2) Plat lembaran Stainless Steel 0,3 mm
 - 3) Baut, mur dan ring baut
 - 4) *Styrofoam*

3.3.3 Pembuatan *Solar water heater*



Gambar 3.5 Rencana desain alat *Solar water heater* energi surya

Keterangan:

1. Tandon
 2. Selang air
 3. Bangku kayu
 4. Pipa tembaga berisi air
 5. *Concentrator Parabolic*
 6. Kolektor tabung
 7. Kabel ties
- a. Alat yang digunakan :
- 1) Gerinda
 - 2) Palu
 - 3) Meteran
 - 4) *Thermoreader*
 - 5) Kabel *thermocouple*
 - 6) *Stopwatch*
 - 7) Gunting pelat
 - 8) Gelas ukur
 - 9) Busur derajat
- b. Bahan yang digunakan :
- 1) Selang plastik berdiameter $\frac{1}{4}$ inchi
 - 2) Tandon untuk *storage*
 - 3) Kayu
 - 4) *Glasswool*
 - 5) Paku
 - 6) Perekat
 - 7) Katup $\frac{1}{4}$ inchi
 - 8) Ramskar jendela

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 bahan *Concentrator Parabolic* yaitu Plat aluminium 0,03 mm dan Plat Stainless Steel 0,03 mm.
- b. Laju aliran massa air 0,007; 0,004 dan 0,001 kg/s

3.4.2 Variabel Terikat

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

- a. Temperatur *outlet* air
- b. Temperatur *Concentrator Parabolic*
- c. Efisiensi kolektor surya

3.4.3 Variabel Kontrol

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

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

3.5 Pengamatan yang Dilakukan

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

- a. Intensitas radiasi surya (I).
- b. Temperatur permukaan *absorber* (T_{abs}).

- c. Temperatur *inlet* air (T_{in}).
- d. Temperatur *outlet* air (T_{out}).
- e. Temperatur *Concentrator Parabolic* (T_c).

3.6 Tahap – tahap Penelitian

3.6.1 Tahap Persiapan

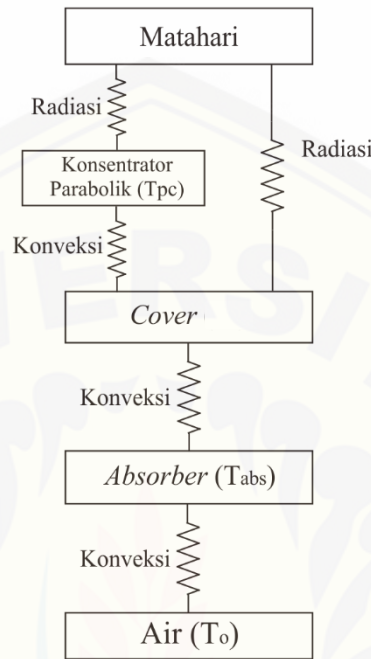
- a. Mengecek kondisi dan kelengkapan alat *Solar water heater*.
- b. Menentukan sudut *zenith* (θ_z) dengan menggunakan persamaan 2.2.
- c. Menghadapkan dan memposisikan kolektor surya pada posisi sudut yang sudah ditentukan pada langkah b.

3.6.2 Tahap Penelitian

- a. Pengambilan data dengan menempatkan *Solar water heater*. *Solar water heater* A menggunakan *Concentrator Parabolic* bahan aluminium dan *Solar water heater* B menggunakan *Concentrator Parabolic* bahan Stainless Steel,.
- b. Mengukur radiasi surya dengan menggunakan *solar power meter* digital.
- c. Mengukur temperatur pada masing – masing titik analisa sesuai pada subbab 3.5 dengan menggunakan *thermoreader*.
- d. Pengambilan data diambil selama 8 jam dari pukul 08.00 sampai dengan 16.00 dengan interval 1 jam.

3.6.3 Tahap Pengolahan Data

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



Gambar 3.6 Diagram tahanan panas

Dari data – data yang telah diambil didapatkan:

- a. Kalor yang diserap air

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

- b. Kalor radiasi langsung matahari

$$Q_i = \frac{1}{2} I n A \dots (3.2)$$

- c. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator*

$$Q_{ip} = I n A \rho \dots (3.3)$$

- d. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator*

$$Q_b = \varepsilon \sigma A (T_c^4 - (\frac{T_{in} + T_{out}}{2})) \dots (3.4)$$

- e. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber

$$Q_{i\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \dots (3.5)$$

- f. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho \dots (3.6)$$

g. Kalor yang diserap absorber

$$Q_{b\ abs} = \varepsilon \sigma A_{abs} (T_c^4 - T_{abs}^4) \dots\dots\dots (3.7)$$

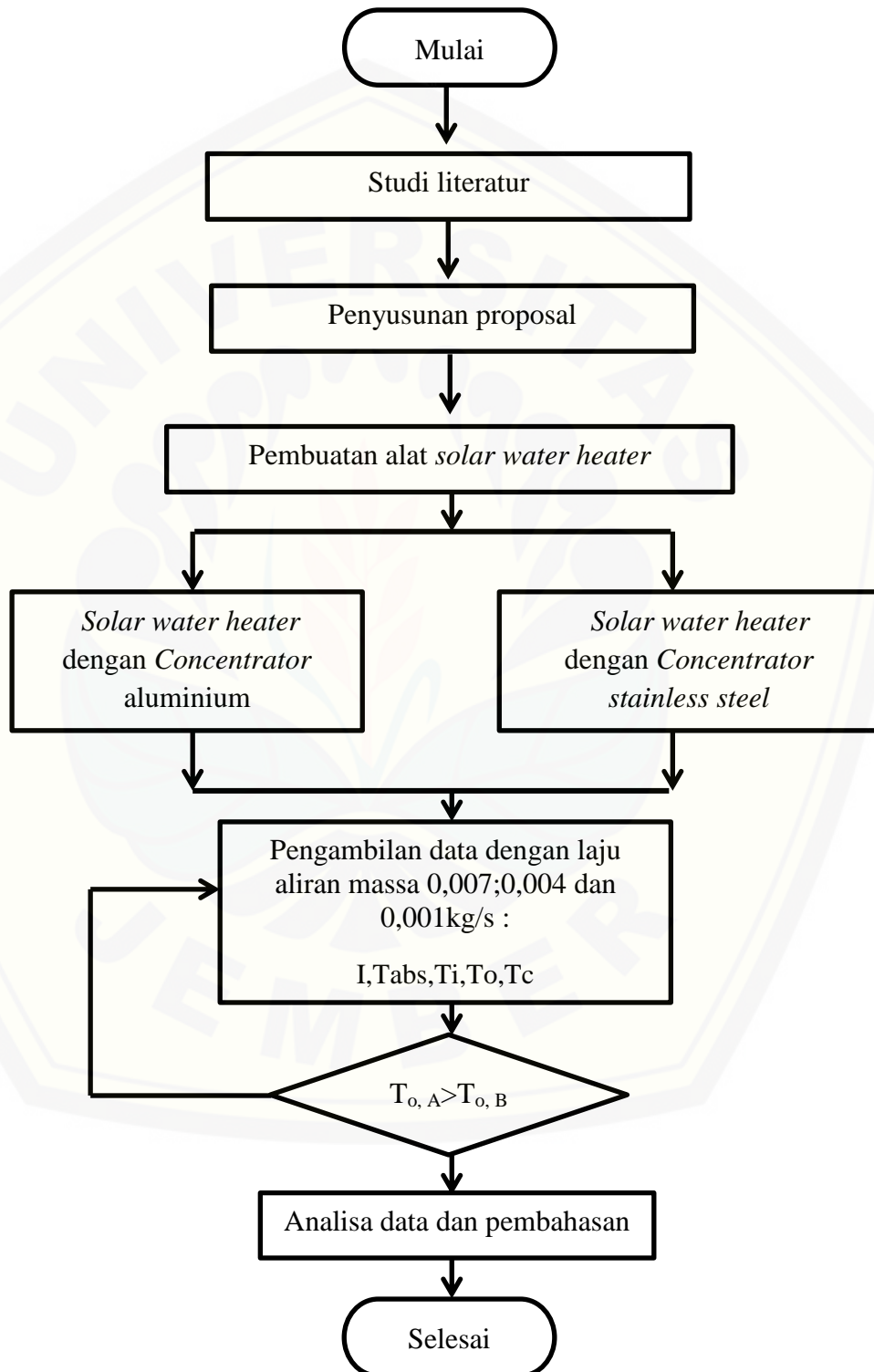
h. Efisiensi

$$\eta = \frac{Q_{air}}{(Q_i + Q_{ip} + Q_b) - (Q_{i\ abs} + Q_{ip\ abs} + Q_{b\ abs})} \times 100\% \dots\dots\dots (3.8)$$



3.7 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang akan dilakukan dalam proses penelitian *solar water heater* (pemanasan air).



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Laju aliran massa terbukti berpengaruh pada temperatur outlet. Temperatur outlet *Solar Water Heater* dengan *Concentrator* aluminium pada laju aliran massa 0,001kg/s memiliki temperatur tertinggi sebesar 53,0°C sedangkan terendah pada laju aliran massa 0,007kg/s sebesar 36,6°C pukul 12.00 WIB, sehingga semakin tinggi laju aliran massa maka temperatur outlet akan semakin kecil dan begitu sebaliknya sampai temperatur optimum yang dapat diserap air.
2. Temperatur *Concentrator Parabolic* Stainless Steel pada intensitas radiasi matahari 1213,9 W/m² mempunyai temperatur tertinggi sebesar 53,33 °C sedangkan pada *Concentrator Parabolic* Aluminium sebesar 41,9 °C. Dari hasil tersebut maka semakin tinggi intensitas radiasi matahari temperatur konsetrator *Parabolic* akan terus meningkat bergantung pada absorpsivitas dari bahan.
3. Bahan *Concentrator Parabolic* mempengaruhi efisiensi dari *Solar water heater*. *Solar Water Heater* yang menggunakan *Concentrator Parabolic* aluminium pada laju aliran massa 0,007kg/s mempunyai selisih efisiensi sebesar 9,66 % lebih tinggi dari *Concentrator Parabolic* stainless steel. Hal ini disebabkan karena nilai reflektansi surya aluminium lebih tinggi dari stainless steel sehingga semakin baik nilai reflektansi surya suatu bahan maka efisiensi yang diperoleh akan semakin besar.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengembangan pada geometri *Concentrator Parabolic* dan menggunakan bahan *Concentrator Parabolic* yang lebih baik memantulkan radiasi matahari untuk meningkatkan efisiensi.

DAFTAR PUSTAKA

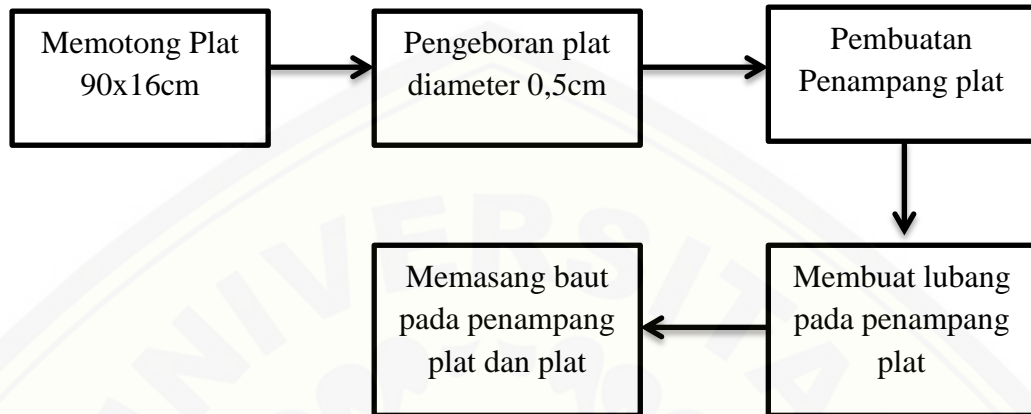
- Artono, R., 2002, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Salemba Teknika.
- Azzouzi, D., Bourorga, H., Belainine, K., Boumeddane, B., 2018, *Experimental study of a designed solar parabolic trough with large rim angle*. Renewable Energy Volume 125, Pages 495-500
- Czandern, A., Masterson, K., & Thomas, T., M., 1985, *Silver/Glass Mirrors for Solar Thermal Systems*. United States of America: Technical Information Branch.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A., 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Felin'ski, P., & Sekret, R., 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 (2017) 758–766.
- Goswami, Y., 2015, *Principles of Solar Engineering*. Third Edition. Taylor & Francis Group, LLC.
- Holman, J. P., 1986. *Heat Transfer*. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill. Terjemahan oleh Jasjfi, E., 1993. *Perpindahan kalor*. Edisi keenam. Jakarta: Erlangga.
- Holman, J. P., 2010. *Heat Transfer*. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hossain, MS., et al, 2013, *Review on Solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011.15: 3801–12.
- Jansen, T. J., *Solar Engineering Technology*. 1st ed. Prentice-hall, Inc, Englewood Cliffs. Terjemahan oleh Arismunandar, W., 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. 1st ed. Jakarta: PT PRADNYA PARAMITA.
- Kabir, E., et al, 2018. *Solar energy: Potential and future prospects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018) 894–900.

- Kim Y., Seo T., 2007, *Thermal performances comparisons of the glass evacuated tube solar collectors with shapes of absorber tube*, Renewable Energy 2007, 32: 772–95.
- Li, X., Dai, Y. J., Li, Y. & Wang, R. Z., 2013. *Comparative study on two novel intermediate temperature CPC solar collectors with the U-shape evacuated tubular absorber*. Solar Energy, 93, pp. 220-234.
- Liang, R., et al, 2011, *Theoretical and experimental investigation of the filled-type evacuated tube solar collector with U tube*. Solar Energy 2011, 85:1735–44.
- Liu, Z., Tao, G. & Wang, Q., 2014. *A novel all-glass evacuated tubular solar steam generator with simplified CPC*. Energy Conversion and Management, 86(), pp. 175-185.
- Michael F. McGuire., *Thermal & Solar Reflectance of Stainless Steel*, Rigidized Metals Corporation.
- Mishra, R. K., Garg, V. & Tiwari, G. N., 2015. *Thermal modeling and development of characteristic equations of evacuated tubular collector (ETC)*. Solar Energy, 116(), pp. 165-176.
- Mishra, R. K., Garg, V. & Tiwari, G. N., 2017. *Energy matrices of U-shaped evacuated tubular collector (ETC) integrated with compound Parabolic Concentrator (CPC)*. Solar Energy, Volume 153, pp. 531-539.
- Perez, R., et al, 1995, *Calculating solar radiation received by tubular collectors*. Journal of Solar. Energy Engineering 1995.,117: 341–4.
- Pudjanarsa, A. & Nursuhud, D., 2013. *Mesin Konversi Energi*, Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Rafeeua, Y. & Ab Kadira, M.Z.A. 2012. *Thermal performance of Parabolic Concentrators under Malaysian environment: A case study*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 3826– 3835.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century , 2016. *Renewables 2016 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.

- Ronnelid, M., Perers, B. & Karlsson, B., 1995, *Construction And Testing Of A Large-Area Cpc-Collector And Comparison With A Flat Plate Collector*. Solar Energy Vol. 57, No. 3, pp. 177-184.
- Sae-Junga, P., Krittayanawacha, T., Deedoma, P., & Limmeechokchaia, B., 2015. *An Experimental Study of Thermo-Syphon Solar water heater in Thailand*. Energy Procedia, 79, pp. 442 – 447.
- Sagade, A., Shinde, N. & Sailesh Patil, 2013, *Experimental Investigations on Mild Steel Compound Parabolic Reflector with Aluminum Foil as Selective Surface and Top Cover*. Energy Procedia 57 (2014) 3058 – 3070.
- Saputra, G. A. H., 2017. [skripsi] *Studi Eksperimental Perbandingan Solar water heater dengan Kolektor Surya Plat Datar, Plat Bergelombang Setengah Lingkaran, dan Plat Bergelombang Segitiga*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sari, A., Kaygusuz, K., 2002. *Thermal and heat transfer characteristics in a latent heat storage system using lauric acid*. Energy Convers. Manage. 43, 2493–2507.
- Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009. *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. Renew. Sustain. Energy Rev. 13, 318–345.
- Shukla, R., et al, 2013, *Recent advances in the solar water heating systems: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 19 (2013) 173–190.
- Velraj, R., Seeniraj, R.V., Hafner, B., Faber, C., Schwarzer, K., 1999. *Heat transfer enhancement in a latent heat storage system*. Sol. Energy 65, 171–180.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur pembuatan *Concentrator Parabolic*



Lampiran 2. Gambar pembuatan *Concentrator Parabolic*



Gambar Lampiran a). Memotong Plat 90x16cm



Gambar Lampiran b). Pengeboran plat diameter 0,5cm



Gambar Lampiran c). Pembuatan Penampang plat



Gambar Lampiran d). Membuat lubang pada penampang plat



Gambar Lampiran e). Memasang baut pada penampang plat dan plat

Lampiran 3. Tabel data kolektor *Concentartor* aluminium dengan laju aliran massa 0,007 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov} A ($^{\circ}C$)	T _{Abs} A ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out} A ($^{\circ}C$)
08.00	1047,8	33,3	29,8	26,4	29,9
09.00	1103,6	34,7	32,3	27,6	32,6
10.00	1163,0	36,8	35,3	27,9	34,7
11.00	1213,9	37,5	37,6	27,9	37,5
12.00	900,0	37,5	35,6	28,0	36,6
13.00	713,6	38,5	37,0	28,3	35,1
14.00	898,9	39,1	36,1	28,3	35,3
15.00	1105,4	38,6	36,0	28,6	35,4
16.00	815,7	38,4	37,6	28,7	33,3

Lampiran 4. Tabel data kolektor *Concentartor* stainless steel dengan laju aliran massa 0,007 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov} B ($^{\circ}C$)	T _{Abs} B ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out} B ($^{\circ}C$)
08.00	1047,8	31,3	29,9	26,4	29,8
09.00	1103,6	37,4	32,4	27,6	31,8
10.00	1163,0	39,3	34,8	27,9	33,6
11.00	1213,9	39,8	37,5	27,9	35,7
12.00	900,0	39,6	35,1	28,0	34,5
13.00	713,6	37,7	36,4	28,3	33,6
14.00	898,9	37,4	35,1	28,3	33,6
15.00	1105,4	37,5	35,9	28,6	34,5
16.00	815,7	36,5	36,1	28,7	32,9

Lampiran 5. Tabel data kolektor *Concentartor* aluminium dengan laju aliran massa 0,004 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov} A ($^{\circ}C$)	T _{Abs} A ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out} A ($^{\circ}C$)
08.00	806,2	36,4	33,8	27,2	33,4
09.00	855,4	38,3	38,2	27,2	34,3
10.00	944,0	41,6	38,1	30,3	38,3
11.00	1167,6	44,3	39,2	30,6	42,0
12.00	920,9	43,9	38,1	30,2	42,1
13.00	1119,0	41,1	37,9	30,3	40,8
14.00	791,7	39,7	36,3	31,4	38,3
15.00	554,9	37,8	35,7	31,8	36,9
16.00	266,9	36,0	34,8	31,9	33,8

Lampiran 6. Tabel data kolektor *concentartor* stainless steel dengan laju aliran massa 0,004 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov} B ($^{\circ}C$)	T _{Abs} B ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out} B ($^{\circ}C$)
08.00	806,2	35,3	33,1	27,2	31,3
09.00	855,4	37,8	36,0	27,2	32,7
10.00	944,0	39,8	38,1	30,3	36,3
11.00	1167,6	41,9	38,9	30,6	38,1
12.00	920,9	41,5	38,0	30,2	40,3
13.00	1119,0	40,1	37,1	30,3	39,0
14.00	791,7	37,6	35,5	31,4	37,2
15.00	554,9	35,9	35,1	31,8	36,3
16.00	266,9	33,4	34,1	31,9	33,5

Lampiran 7. Tabel data kolektor concentrator aluminium dengan laju aliran massa 0,001 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov A} ($^{\circ}C$)	T _{Abs A} ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out A} ($^{\circ}C$)
08.00	1001,9	31,5	31,6	26,8	36,4
09.00	1134,1	35,5	39,8	28,2	40,5
10.00	1179,0	40,9	47,2	28,7	46,1
11.00	1232,6	42,1	50,1	29,2	51,0
12.00	1021,0	44,1	49,5	29,3	53,0
13.00	1007,7	39,8	45,3	29,9	47,8
14.00	1053,1	38,5	43,2	29,1	45,6
15.00	900,9	37,5	42,1	29,6	43,7
16.00	635,3	36,8	38,9	29,1	40,0

Lampiran 8. Tabel data kolektor concentrator stainless steel dengan laju aliran massa 0,001 kg/s

Jam	I (W/m^2)	T _{Cov B} ($^{\circ}C$)	T _{Abs B} ($^{\circ}C$)	T _{in} ($^{\circ}C$)	T _{Out B} ($^{\circ}C$)
08.00	1001,9	31,0	29,8	26,8	33,6
09.00	1134,1	34,8	39,7	28,2	38,5
10.00	1179,0	39,0	44,5	28,7	44,1
11.00	1232,6	37,5	47,7	29,2	48,2
12.00	1021,0	38,4	48,5	29,3	50,7
13.00	1007,7	36,8	43,0	29,9	45,8
14.00	1053,1	36,4	41,6	29,1	44,1
15.00	900,9	35,8	41,0	29,6	43,4
16.00	635,3	34,9	38,0	29,1	39,9

Lampiran 9. Perhitungan Laju Aliran Massa Fluida

1. Laju aliran massa 0,007 kg/s

Diketahui	: Waktu (s)	= 28s
	Volume (V)	= 200ml = $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
	Massa jenis air(ρ)	= 1000 kg/m ³

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

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

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

$$\dot{m} = 0,0071 \text{ kg/s}$$

2. Laju aliran massa 0,004 kg/s

Diketahui	: Waktu (s)	= 47s
	Volume (V)	= 200ml = $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
	Massa jenis air(ρ)	= 1000 kg/m ³

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

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

$$\dot{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{47 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,0042 \text{ kg/s}$$

3. Laju aliran massa 0,001 kg/s

Diketahui	: Waktu (s)	= 152 s
	Volume (V)	= 200ml = $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
	Massa jenis air(ρ)	= 1000 kg/m ³

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

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

$$\dot{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{152 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,00131 \text{ kg/s}$$

Lampiran 10. Perhitungan Kalor yang diserap air

- a. Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.1.

Diketahui bahwa temperatur air masuk (T_{in}) = 26,4 °C sedangkan temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 29,9 °C. Laju aliran massa air (\dot{m}) yang digunakan sebesar 0,007 kg/s dan memiliki kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C.

Maka kalor yang diserap air sebesar :

$$Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{keluaran} - T_{masuk})$$

$$Q_{air} = 0,007 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (29,9 - 26,4) C$$

$$Q_{air} = 102,9 W$$

- b. Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.1.

Diketahui bahwa temperatur air masuk (T_{in}) = 27,2 °C sedangkan temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 33,4 °C. Laju aliran massa air (\dot{m}) yang digunakan sebesar 0,004 kg/s dan memiliki kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C.

Maka kalor yang diserap air sebesar :

$$Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{keluaran} - T_{masuk})$$

$$Q_{air} = 0,004 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (33,4 - 27,2) C$$

$$Q_{air} = 104,16 W$$

- c. Kalor yang diserap air pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.1.

Diketahui bahwa temperatur air masuk (T_{in}) = 26,8 °C sedangkan temperatur air keluar ($T_{out A}$) = 36,4 °C. Laju aliran massa air (\dot{m}) yang digunakan sebesar 0,001 kg/s dan memiliki kalor spesifik air (c_a) = 4200 J/kg.C.

Maka kalor yang diserap air sebesar :

$$Q_{air} = \dot{m} \cdot c_a \cdot (T_{keluaran} - T_{masuk})$$

$$Q_{air} = 0,001 \frac{kg}{s} \cdot 4200 \frac{J}{kg} \cdot C \cdot (36,4 - 26,8) C$$

$$Q_{air} = 40,32 W$$

Lampiran 11. Perhitungan Kalor radiasi langsung matahari

- a. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.2.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 1047,8 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan cover dengan luas masing- masing 0,157 m².

Maka kalor radiasi langsung matahari sebesar :

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

$$Q_i = 0,5 \cdot 1047,8 \frac{W}{m^2} \cdot 3 \cdot 0,157 m^2$$

$$Q_i = 246,76 W$$

- b. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.2.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 806,2 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan cover dengan luas masing- masing 0,157 m².

Maka kalor radiasi langsung matahari sebesar :

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

$$Q_i = 0,5 \cdot 806,2 \frac{W}{m^2} \cdot 3 \cdot 0,157 m^2$$

$$Q_i = 189,86 W$$

- c. Kalor radiasi langsung matahari pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.2.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar $1001,9 \text{ W/m}^2$ yang kemudian mengenai 3 permukaan cover dengan luas masing-masing $0,157 \text{ m}^2$.

Maka kalor radiasi langsung matahari sebesar :

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

$$Q_i = 0,5 \cdot 1001,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 3 \cdot 0,157 \text{ m}^2 = 235,95 \text{ W}$$

Lampiran 12. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator*

- a. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa $0,007 \text{ kg/s}$ pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar $1047,8 \text{ W/m}^2$ yang kemudian mengenai 3 permukaan *Parabolic Concentrator* dengan luas dan nilai reflektifitas alumunium masing-masing $0,144 \text{ m}^2$ dan $0,92$.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_{ip} = 1047,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 3 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip} = 416,44 \text{ W}$$

- b. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa $0,004 \text{ kg/s}$ pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar $1001,9 \text{ W/m}^2$ yang kemudian mengenai 3 permukaan *Parabolic Concentrator* dengan luas dan nilai reflektifitas alumunium masing-masing $0,144 \text{ m}^2$ dan $0,92$.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_{ip} = 1001,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 3 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip} = 320,42 \text{ W}$$

- c. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa $0,001 \text{ kg/s}$ pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.3.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar $806,2 \text{ W/m}^2$ yang kemudian mengenai 3 permukaan *Parabolic Concentrator* dengan luas dan nilai reflektifitas aluminium masing-masing $0,144 \text{ m}^2$ dan $0,92$.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_{ip} = 806,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 3 \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip} = 398,20 \text{ W}$$

Lampiran 13. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator*

- a. Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* pada laju aliran massa $0,007 \text{ kg/s}$ pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.4.

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator*, inlet dan outlet air masing-masing sebesar $38,8^\circ\text{C}$; $26,4^\circ\text{C}$ dan $29,9^\circ\text{C}$. *Parabolic Concentrator* terdiri dari 3 permukaan dengan luas $0,144 \text{ m}^2$ sedangkan emisivitas Aluminium $0,09$ dan konstanta boltzman (σ) = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$.

Maka Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_b = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{mK}^4} \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot \left(38,8^4 - \left(\frac{26,4 + 29,9}{2}\right)^4\right)$$

$$Q_b = 0,90 \text{ W}$$

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

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator*, inlet dan outlet air masing-masing sebesar $38,3^\circ\text{C}$; $27,2^\circ\text{C}$ dan $33,4^\circ\text{C}$. *Parabolic Concentrator* terdiri dari 3 permukaan dengan luas $0,144 \text{ m}^2$ sedangkan emisivitas Aluminium $0,09$ dan konstanta boltzman (σ) = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mK}^4$.

Maka Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_b = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot \left(38,3^4 - \left(\frac{27,2 + 33,4}{2} \right)^4 \right)$$

$$Q_b = 0,68 \text{ W}$$

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

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator*, inlet dan outlet air masing-masing sebesar 39,6 °C; 26,8 °C dan 36,4 °C. *Parabolic Concentrator* terdiri dari 3 permukaan dengan luas 0,144 m² sedangkan emisivitas Alumunium 0,09 dan konstanta boltzman (σ) = 5,67x10⁻⁸ W/mK⁴.

Maka Kalor radiasi *Parabolic Concentrator* sebesar :

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

$$Q_b = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} \cdot 0,144 \text{ m}^2 \cdot \left(39,6^4 - \left(\frac{26,8 + 36,4}{2} \right)^4 \right)$$

$$Q_b = 0,69 \text{ W}$$

Lampiran 14. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber

- a. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 1047,8 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas masing- masing 0,053 m².

Maka kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber sebesar :

$$Q_{i \text{ abs}} = \frac{1}{2} I_n A_{\text{abs}}$$

$$Q_{i \text{ abs}} = 0,5 \cdot 1047,8 \frac{W}{m^2} \cdot 3 \cdot 0,053 m^2$$

$$Q_{i \text{ abs}} = 83,30 W$$

- b. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5. Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 806,2 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas masing- masing 0,053 m².

Maka kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber sebesar :

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

$$Q_{i abs} = 0,5 \cdot 806,2 \frac{W}{m^2} \cdot 3 \cdot 0,053 m^2$$

$$Q_{i abs} = 64,09 W$$

- c. Kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.5. Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 1001,9 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas masing- masing 0,053 m².

Maka kalor radiasi langsung matahari yang diserap absorber sebesar :

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

$$Q_{i abs} = 0,5 \cdot 1001,9 \frac{W}{m^2} \cdot 3 \cdot 0,053 m^2$$

$$Q_{i abs} = 79,65 W$$

Lampiran 15. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber

- a. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.6.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 1047,8 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas dan nilai reflektifitas aluminium masing- masing 0,053 m² dan 0,92.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$$

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} 1047,8 W/m^2 \cdot 3 \cdot 0,053 m^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip\ abs} = 76,64 W$$

- b. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.6.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 806,2W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas dan nilai reflektifitas alumunium masing- masing 0,053 m² dan 0,92.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$$

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} 806,2 W/m^2 \cdot 3 \cdot 0,053 m^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip\ abs} = 58,97 W$$

- c. Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.6.

Diketahui bahwa intensitas radiasi matahari sebesar 1001,9 W/m² yang kemudian mengenai 3 permukaan absorber dengan luas dan nilai reflektifitas alumunium masing- masing 0,053 m² dan 0,92.

Maka Kalor radiasi pantulan *Parabolic Concentrator* sebesar :

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} I n A_{abs} \rho$$

$$Q_{ip\ abs} = \frac{1}{2} 1001,9 W/m^2 \cdot 3 \cdot 0,053 m^2 \cdot 0,92$$

$$Q_{ip\ abs} = 73,28 W$$

Lampiran 16. Perhitungan Kalor yang diserap absorber

- a. Kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.7.

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator* dan absorber masing-masing sebesar 38,8 °C dan 29,8 °C. Absorber terdiri dari 3 permukaan dengan luas 0,053 m² sedangkan emisivitas Aluminium 0,09 dan konstanta boltzman (σ) = 5,67x10⁻⁸ W/mK⁴.

Maka Kalor yang diserap absorber sebesar :

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

$$Q_{b\ abs} = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} \cdot 0,053 m^2 (311,8^4 - 302,8^4)$$

$$Q_{b\ abs} = 0,28 W$$

- b. Kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,004 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.7.

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator* dan absorber masing-masing sebesar 38,3 °C dan 33,8 °C. Absorber terdiri dari 3 permukaan dengan luas 0,053 m² sedangkan emisivitas Aluminium 0,09 dan konstanta boltzman (σ) = 5,67x10⁻⁸ W/mK⁴.

Maka Kalor yang diserap absorber sebesar :

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

$$Q_{b\ abs} = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} \cdot 0,053 m^2 (311,3^4 - 306,8^4)$$

$$Q_{b\ abs} = 0,14 W$$

- c. Kalor yang diserap absorber pada laju aliran massa 0,001 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.7.

Diketahui bahwa temperatur *Parabolic Concentrator* dan absorber masing-masing sebesar 39,6 °C dan 31,6 °C. Absorber terdiri dari 3 permukaan dengan luas 0,053 m² sedangkan emisivitas Aluminium 0,09 dan konstanta boltzman (σ) = 5,67x10⁻⁸ W/mK⁴.

Maka Kalor yang diserap absorber sebesar :

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

$$Q_{b\ abs} = 0,09 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{mK^4} \cdot 0,053 m^2 (312,6^4 - 304,6^4)$$

$$Q_{b\ abs} = 0,26 W$$

Lampiran 17. Perhitungan Efisiensi

- a. Efisiensi pemanas air tenaga surya pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.8.

Diketahui bahwa Q_{Air} , Q_i , Q_{ip} , Q_b , $Q_{i\ abs}$, $Q_{ip\ abs}$ dan $Q_{b\ abs}$ pada kolektor masing-masing adalah 102,9 W; 246,76 W; 416,44 W; 0,90 W; 83,30 W; 76,64 W dan 0,28 W.

Maka efisiensi solar water heater adalah

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

$$\eta = \frac{102,9}{(246,76 + 416,44 + 0,90) - (83,30 + 76,64 + 0,28)} \times 100\%$$

$$\eta = 20,42 \%$$

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

Diketahui bahwa Q_{Air} , Q_i , Q_{ip} , Q_b , $Q_{i\ abs}$, $Q_{ip\ abs}$ dan $Q_{b\ abs}$ pada kolektor masing-masing adalah 104,16 W; 189,86 W; 320,42 W; 0,68 W; 64,09 W; 58,97 W dan 0,14 W.

Maka efisiensi solar water heater adalah

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

$$\eta = \frac{104,16}{(189,86 + 320,42 + 0,68) - (64,09 + 58,97 + 0,14)} \times 100\%$$

$$\eta = 26,86 \%$$

- c. Efisiensi pemanas air tenaga surya pada laju aliran massa 0,007 kg/s pada kolektor A dan B menggunakan persamaan 3.8.

Diketahui bahwa Q_{Air} , Q_i , Q_{ip} , Q_b , $Q_{i abs}$, $Q_{ip abs}$ dan $Q_{b abs}$ pada kolektor masing-masing adalah 40,32 W; 235,95 W; 398,20 W; 0,69 W; 79,65 W; 73,28 W dan 0,26 W.

Maka efisiensi solar water heater adalah

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

$$\eta = \frac{40,32}{(235,95 + 398,20 + 0,69) - (79,65 + 73,28 + 0,26)} \times 100\%$$

$$\eta = 8,37 \%$$

Lampiran 18. Gambar Pembuatan kolektor dan Foto Penelitian



Gambar Lampiran a). Pengelasan kolektor



Gambar Lampiran b). Pemasangan kolektor



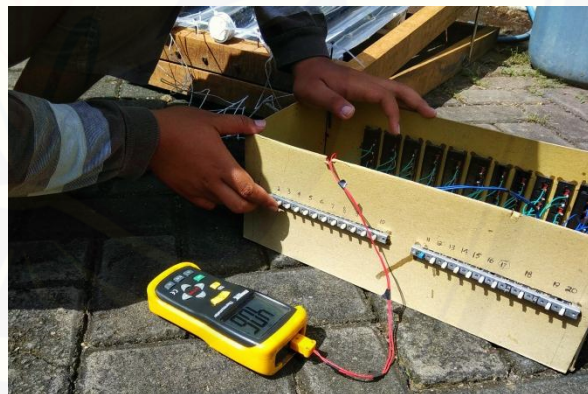
Gambar Lampiran c). Pengambilan data debit air



Gambar Lampiran d). Kolektor A dan Kolektor B



Gambar Lampiran e). Pengambilan data intensitas radiasi matahari



Gambar Lampiran f). Pengambilan data temperatur