

**UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR ALIRAN  
PARALEL MENGGUNAKAN PIPA YANG SAMA  
ANTARA HEADER DAN RISER**

**(Tesis)**

**Oleh**

**ZULFA**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## ABSTRAK

### UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR ALIRAN PARALEL MENGGUNAKAN PIPA YANG SAMA ANTARA HEADER DAN RISER

Oleh

ZULFA

Kolektor pelat datar aliran paralel selalu menggunakan diameter pipa yang berbeda antara header dan *riser*, tetapi pada penelitian ini pipa header dan *riser* memiliki diameter yang sama supaya permukaan kolektor dapat menempel dengan sempurna dengan permukaan panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kolektor surya aliran paralel meliputi efisiensi termal dan *pressure drop*. Variabel yang digunakan meliputi variasi jarak antar pipa paralel terhadap diameter ( $W/D$ ), arah aliran fluida pada pipa *riser* (vertikal dan horizontal) dan bahan pelat absorber (tembaga dan alumunium). Untuk memenuhi tujuan ini dibuat empat buah kolektor dengan luas pelat yang sama, tiga kolektor menggunakan pelat tembaga ( $W/D$  8 vertikal,  $W/D$  12 vertikal dan  $W/D$  8 horizontal) dan satu kolektor  $W/D$  8 vertikal menggunakan pelat alumunium. Pengujian menggunakan solar simulator dengan standar pengujian EN 12975-2:2006. Dari hasil pengujian dilakukan perhitungan menggunakan *Multiple Linear Regression* (MLR) didapat efisiensi zero dan koefisien rugi-rugi kalor dari kolektor. Kolektor  $W/D$  8 vertikal pelat tembaga memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi efisiensi dan rugi-rugi kalor dengan nilai berturut turut 46,65 % dan 2.7111  $W/(m^2K)$ . Lebih lanjut kolektor  $W/D$  12 vertikal memiliki nilai *pressure drop* terbaik dengan nilai 123.48 Pa. Kolektor dengan pelat tembaga memiliki efisiensi dan rugi-rugi kalor yang lebih baik dibanding kolektor pelat alumunium tetapi harga pelat tembaga 14 kali lebih mahal dari pelat alumunium. Kolektor susunan vertikal memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien rugi-rugi kalor dan efisiensi tetapi memiliki nilai *pressure drop* lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor susunan horizontal. Kolektor yang menggunakan penutup kaca dan kolektor dengan laju aliran massa yang lebih kecil memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien rugi-rugi kalor dan efisiensi.

**Kata kunci:** efisiensi termal, jarak antar pipa *riser*, kolektor surya pelat datar, *pressure drop*.

## ABSTRACT

### THE PERFORMANCE OF PARALLEL FLOW FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR USING SIMILAR PIPE OF HEADER AND RISER

BY

ZULFA

The parallel flow flat plate collector is usually built with different diameter between the header and the riser, but in this study the header and the riser pipes have similar size to make the surface of collector and solar panel attached perfectly. The aim of this study is to characterize the parallel flow solar collector in terms of thermal efficiency and pressure drop based on variation of tube spacing to diameter (W/D), fluid flow direction in riser pipe (horizontal and vertical), and absorber plate material (copper and aluminium). Four collectors are made with similar plate area. Copper plates are used to make three type of collectors (W/D 8 vertical, W/D 12 vertical, W/D 8 horizontal) and aluminium plates are used to make another one (W/D 8 vertical). The performance of the collector is tested by a solar simulator based on EN 12975-2: 2006 standard testing method. The data are calculated using Multiple Linear Regressions (MLR) to get efficiency zero and heat loss coefficients. The W/D 8 vertical copper collector has the best performance in terms of efficiency zero and heat loss with 46.65% and  $-2.7111 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  respectively. However the W/D 12 collector has the lowest value of pressure drop with 123.48 Pa. The collector with copper absorber has a better heat efficiency and heat loss than aluminum absorber collectors but the prices is higher as much as 14 times compare to aluminum absorber. The vertical arrangement collector has the best performance in terms of heat loss and efficiency coefficients but the pressure drop is higher than the horizontal arrangement collector. The Collector with glass cover and the collector with a smaller flow rate have the best performance in terms of heat loss and efficiency coefficient compared with other collectors.

**Keywords:** thermal efficiency, tube spacing, flat plate solar collector, pressure drop.

**UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR ALIRAN  
PARALEL MENGGUNAKAN PIPA YANG SAMA  
ANTARA HEADER DAN RISER**

**Oleh**

**ZULFA**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER TEKNIK**

**Pada**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Tesis**

**: UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT  
DATAR ALIRAN PARALEL MENGGUNAKAN  
PIPA YANG SAMA ANTARA HEADER DAN  
RISER**

**Nama Mahasiswa**

**: Zulfa**

**Nomor Pokok Mahasiswa**

**: 1425021008**

**Jurusan**

**: Teknik Mesin**

**Program Studi**

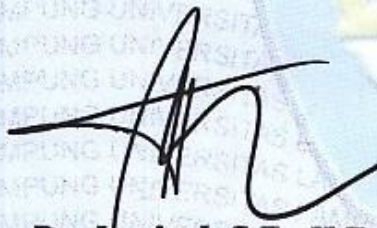
**: Magister Teknik Mesin**

**Fakultas**

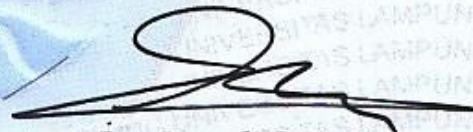
**: Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



**Dr. Amrizal, S.T., M.T.**  
NIP 19700202 199803 1 004



**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP 19710331 199903 1 003

**2. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**

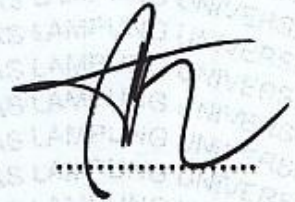


**Dr. Amrizal, S.T., M.T.**  
NIP 19700202 199803 1 004

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

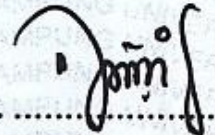
**Ketua : Dr. Amrizal, S.T., M.T.**



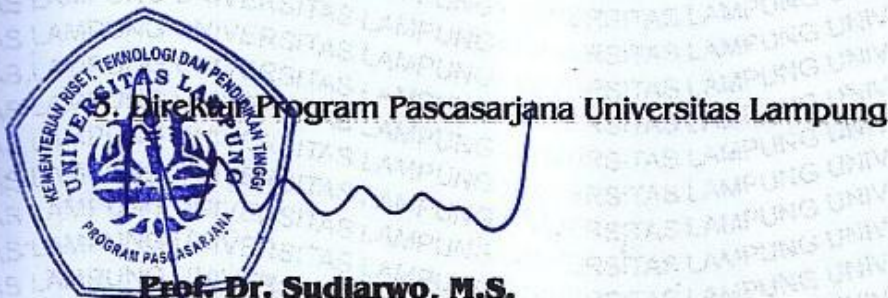
**Sekretaris : Dr. Amrul, S.T., M.T.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.**



**Prof. Sunarno, M.S., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19620717 198703 1 002



**Prof. Dr. Sudjarwo, M.S.**  
NIP 19530528 198103 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 07 Juli 2017**

## PERNYATAAN PENULIS

Tesis ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3 I871H261DT/2010.

Yang membuat pernyataan,



Zulfa

NPM 1425021008

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sariak, Nagari Koto Baru, Kecamatan Luhak Nan Duo, Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat pada tanggal 30 Desember 1985. Penulis merupakan putra kedua dari lima bersaudara anak pasangan Bapak (alm). Suarman dan Jainis Naini.

Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SD N 81 Sarik pada tahun 1991-1997, Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) Negeri 2 Pasaman pada tahun 1997-2000, Diteruskan dengan menempuh pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Umum (SMU) Negeri 1 Pasaman pada tahun 2000-2003.

Penulis mendaftar sebagai mahasiswa pada tahun 2003 di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik di Universitas Andalas. Selama perkuliahan, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Material. Penulis juga pernah aktif sebagai anggota organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) dan Forum Studi Islam Teknik (FORISTEK). Pada tahun 2007, Penulis melakukan Kerja Praktek (KL) di PT. Semen Padang, Provinsi Sumatera Barat. Ditahun yang sama, penulis juga melakukan penelitian yang berhubungan dengan pelapisan logam. Penulis menyelesaikan perkuliahan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik dengan skripsi



berjudul Pengaruh Voltase dan Konsentrasi Sakarin terhadap Karakteristik Deposit pada Pelapisan Nikel. Diwisuda pada tanggal 09 Oktober 2007 dengan Indeks Prestasi Kumulatif (IPK) 3,37 pada skala 4,00.

Penulis pernah bekerja di Wilmar Group di Dumai sebagai Foreman DCS Turbine Power Plant 2 x 15 MW tahun 2008-2009. Kemudian pada bulan Oktober 2009, penulis bekerja di PT. Transportasi Gas Indonesia di Jambi. Pada bulan yang sama penulis di terima sebagai PNS di Baristand Industri Bandar Lampung, Kementerian Perindustrian, sampai sekarang (2017).

Kemudian pada tanggal 17 Agustus 2012 (28 Ramadan 1433 H), penulis menikah dengan Laura Megadia Sari dan dikarunia seorang putra bernama Alkhalifi Athallah Zulfa. Selanjutnya pada tahun 2014, penulis mendaftar sebagai mahasiswa Magister Teknik Mesin dengan konsentrasi belajar Konversi energi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung (Unila).

## MOTTO

“Barang siapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu adalah untuk dirinya sendiri?”. (QS. Al-Ankabut: 6)

“Tidak ada balasan kebaikan kecuali kebaikan pula..”. (QS. Ar-Rahman: 60)

“Orang Berilmu dan beradab tidak akan diam dikampung halaman tinggalkan negerimu dan merantaulah kenegri orang, merantaulah kau akan dapatkan pengganti dari kerabat dan kawan ,berlelah lelahlah, manisnya hidup terasa setelah berjuang ”. (Imam Syafii)

*Alhamdulillahirabbil'alamin, dengan rahmat Allah SWT  
karya ini Penulis sembahkan kepada:*

*“Orang tua tercinta (alm. Abak, Suarman Jo One Janis Naini),  
terima kasih yang teramat sangat atas segala kasih sayang,  
doa dan apa yang berikan”.*

*“Istriku Laura Megadia Sari, Msi. selalu memberikan  
motivasi dan semangat hidup.*

*“Anakku tersayang Alkhalifi Athallah Zulfa, buah cinta  
Abak jo Bundo, sibiran tulang, ubek jariah palarai damam”.*

*“Uda (Afrizal Madyan) dan Adiak (Irwan, Nelva Media dan  
Dian Arina Desella Putri) atas support dan semangatnya”.*

*“Almamater Tercinta  
Universitas Lampung”*

## SANWACANA

Alhamdulillahrabbi'l'alamin penulis sembahkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “*Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Paralel Menggunakan Pipa yang Sama Antara Header dan Riser*”.

Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan perkuliahan dan memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penulisan dan penyusunan tesis ini, penulis telah banyak diberi motivasi, arahan, bimbingan dan nasehat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini dengan segenap ketulusan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Amrizal, selaku Ketua Program Magister Teknik Mesin sekaligus dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran, waktu dan semangat hingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Dr. Amrul, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, waktu dan semangat hingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan selama proses sidang.

4. Pusdiklat Industri, Kementerian Perindustrian yang telah memberikan bantuan dana melalui Beasiswa Mandiri.
5. Orang tua tercinta yang telah mencurahkan segenap kasih sayang, doa serta semangat kepada penulis.
6. Istriku, Laura Megadiasari yang dengan penuh kesabaran mendampingi penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Anakku, Alkhalifi Athallah Zulfa (Biru) sebagai penghilang lelah dan pemantik semangat dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Ismail, teman dalam pelaksanaan penelitian ini.
9. Asisten Laboratorium Termodinamika yang selalu memberi semangat.
10. Kawan-kawan seperjuangan Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.

Akhir kata, penulis menyadari akan kekurangan dan kelemahan dalam penyajian Tesis ini, oleh karena itu Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang sifat membangun dan sangat demi perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 25 Juli 2017  
Penulis

Zulfa

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	v
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vi
<b>MOTTO</b> .....	viii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>SANWACANA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	4
1.3. Manfaat .....	4
1.4. Pembatasan Masalah .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1. Penelitian Kolektor Surya .....	6

2.2. Energi Surya.....	14
2.3. Kolektor Surya .....	17
2.4. Tinjauan Perpindahan Panas .....	25
2.4.1. Konduksi .....	26
2.4.2. Konveksi.....	28
2.4.3. Radiasi .....	30
2.5. Perhitungan Efisiensi Kolektor Surya.....	32
2.6. Pengaruh T Join Terhadap Pressure Drop.....	37
2.7. Pengujian Efisiensi pada kondisi <i>steady state</i> .....	40
2.8. Prosedur Pengujian <i>time Constant</i> .....	42
2.9. <i>Multiple Regresion Linear</i> .....	42
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>46</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	46
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	46
3.3. Prosedur Penelitian .....	52
3.3.1. Tahap Pembuatan Kolektor .....	52
3.3.2. Tahap Pengujian .....	55
3.3.3. Tahap Analisis.....	56
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>58</b>
4.1. Hasil Pembuatan Alat.....	58
4.2. Data Hasil Pengujian.....	60
4.2.1. Data Perpindahan Panas Kolektor.....	61
4.2.2. Data Pressure Drop.....	62
4.3. Perhitungan dan Pembahasan Unjuk Kerja Termal .....	66
4.3.1. Pengaruh Jarak Pipa Riser .....	66
4.3.2. Pengaruh Pelat Absorber .....	74
4.3.3. Pengaruh Arah Pipa Riser .....	77
4.3.4. Pengaruh Penutup Kaca .....	80
4.3.5. Pengaruh Laju Aliran Massa .....	82
4.3.6. Analisa Statistik.....	84

<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>86</b>
A. Kesimpulan .....	86
B. Saran.....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>88</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>91</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Data dan hasil penelitian .....	10
2.2. Potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia tahun 2014 .....	15
2.3. Konduktivitas termal bahan pada suhu 300 K .....	28
2.4. Koefisien kerugian minor ( $K_1$ ) komponen umum jaringan pipa.....	40
2.5. Selisih parameter diukur yang diizinkan saat pengujian.....	41
4.1. Data <i>pressure drop</i> W/D 12 vertikal (4 pipa). .....	63
4.2. Data <i>pressure drop</i> W/D 8 vertikal (7 pipa).. .....	64
4.3. <i>Pressure drop</i> kolektor W/D 8 horizontal (11 pipa) .....	65
4.4. Data hasil perhitungan kolektor W/D 12 vertikal (4 pipa) pelat tembaga . .....	69
4.5. Tampilan statistik kolektor W/D 12 vertikal pelat tembaga. ....	70
4.6. Hasil statistik kolektor W/D 12 vertikal pelat tembaga. ....	70
4.7. Hasil statistik kolektor W/D 80 vertikal pelat tembaga.....	71
4.8. Hasil statistik dari kolektor W/D 8 vertikal pelat aluminium. ....	74
4.9. Perbandingan harga material dan efisiensi.....	76
4.10. Hasil statistik dari kolektor W/D 8 horizontal.....	77
4.11. Hasil statistik dari kolektor W/D 8 tanpa kaca.....	80

4.12. Hasil stastistik dari kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga pada laju aliran 0,0075 kg/s .....	82
4.13. Rangkuman nilai statisik kolektor.....	85
A.1. Data hasil pengujian kolektor W/D 12 vertikal pelat tembaga. ....	91
A.2. Data hasil pengujian kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga. ....	92
A.3. Data hasil pengujian kolektor W/D 8 vertikal pelat aluminium.....	93
A.4. Data hasil pengujian kolektor W/D 8 horizontal pelat tembaga. ....	94
A.5. Data hasil pengujian kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga tanpa kaca penutup .....	95
A.6. Data hasil pengujian kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga dengan laju aliran massa 0,0075 kg/s.....	95
B.1. Data hasil perhitungan kolektor W/D 12 vertikal pelat tembaga .....	96
B.2. Data hasil perhitungan Kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga .....	97
B.3. Data hasil perhitungan kolektor W/D 8 vertikal pelat alumunium. .	98
B.4. Data hasil perhitungan kolektor W/D 8 Horizontal pelat tembaga. ..	99
B.5. Data hasil perhitungan kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga tanpa kanca penutup.....	100
B.6. Data hasil perhitungan kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga dengan laju aliran massa 0,0075 kg/s.....	100
C.1. Hasil uji statistik kolektor W/D 12 vertikal pelat tembaga .....	101
C.2. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga .....	101
C.3. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 vertikal pelat alumunium.....	102
C.4. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 Horizontal pelat tembaga. ....	102
C.5. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga tanpa kanca penutup.....	103

C.6. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga dengan kaca penutup (16 Data) .....	103
C.7. Hasil uji statistik kolektor W/D 8 vertikal pelat tembaga dengan laju aliran massa 0,0075 kg/s. ....	104

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Susunan pipa riser (a) 9 pipa (b) 12 pipa (c) zig-zag .....	7
2.2. Pengaruh jarak pipa ( <i>tube spacing</i> ) terhadap efisiensi kolektor .....	7
2.3. Pengaruh jumlah pipa pemanas terhadap energi berguna .....	8
2.4. Arah Aliran Kolektor Z dan U .....	9
2.5. Nomograph sebagai alat desain untuk kolektor pelat datar dengan sirip dan geometri tabung .....	12
2.6. Grafik faktor efisiensi kolektor terhadap jarak pipa .....	14
2.7. Potensi ketersediaan energi surya .....	16
2.8. Pemanfaatan energi radiasi matahari .....	17
2.9. Kolektor Surya Pelat Datar/ <i>Flat-Plate Collectors</i> .....	20
2.10. Pemasangan pipa riser (a) paralel (b) seri .....	23
2.11. Tipe pemasangan pipa ke pelat penyerap pada kolektor surya pelat.....	24
2.12. <i>Evacuated Tube Flat plat Collectors</i> .....	25
2.13. Perpindahan panas konduksi melewati bidang dengan tebal $\Delta x$ dan Luas A .....	27
2.14. Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara .....	29
2.15. Perpindahan panas radiasi dari suatu permukaan ke lingkungannya .....	32

2.16. Berbagai kemungkinan aliran masuk dan keluar sambungan simpangan T (Paritosh R. Vasava,2007).....	38
3.1. Alat ukur temperatur (a) Termocouple (b) Multi chanel .....	47
3.2. Solari meter .....	48
3.3. Pompa sirkulasi .....	48
3.4. Solar simulator .....	49
3.5. <i>U tube differensial pressure gauge</i> .....	50
3.6. Perangkat pemanas.....	51
3.7. Langkah kerja penelitian .....	52
3.8. Arah aliran vertikal dengan variasi jarak pipa paralel (a) 120 mm (b) 80 mm. ....	54
3.9. Arah aliran Horizontal dengan Jarak Pipa paralel 80 mm .....	54
4.1. Hasil pembuatan kolektor (a) W/D 12 vertikal, (b) W/D 8 vertikal, (c) W/D 8 vertikal pelat alumunium, dan (d) W/D 8 horizontal.....	59
4.2. Hasil pembuatan alur.....	60
4.3. Kolektor sebelum disatukan.....	60
4.4. Pengukuran <i>pressure drop</i> W/D 12 pada laju aliran massa 0,009167 kg/s.....	63
4.5. Grafik salah satu hasil pengujian <i>Pressure drop</i> .....	64
4.6. Grafik hubungan efisiensi terhadap rugi-rugi panas kolektor W/D 8 dan W/D 12 .....	72
4.7. Grafik hubungan efisiensi terhadap rugi-rugi panas kolektor W/D 8 pelat tembaga dan alumunium.....	75
4.8. Grafik hubungan efisiensi terhadap rugi-rugi panas kolektor W/D 8 vertikal dan horizontal .....	78

4.9. Grafik hubungan <i>pressure drop</i> terhadap $T_{out}$ kolektor vertikal dan horizontal.....	79
4.10. Grafik hubungan efisiensi terhadap rugi-rugi panas kolektor pakai kolektor pakai kaca penutup dan tanpa kaca penutup.....	81
4.11. Grafik hubungan efisiensi terhadap rugi-rugi panas kolektor pada laju aliran 0,009167 kg/s dan 0,0075 kg/s.....	83

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah tropis dan khatulistiwa sehingga bumi Indonesia mendapatkan sinar matahari dengan intensitas yang dapat dikatakan konstan dan cukup tinggi. Potensi energi panas matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari atau setara dengan 112 ribu Giga Watt Peak (GWp). Namun, saat ini energi matahari yang sudah dimanfaatkan hanya sekitar 49MWp. Ini berarti, potensi energi matahari yang sudah dimanfaatkan masih jauh dari angka 1% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015).

Penggunaan energi surya sebagai bentuk energi alternatif dapat digunakan secara luas seperti pada sistem pemanas dan pendingin ruangan, sistem pemanas dan pendingin air, sumber listrik, dan bermacam proses industri. Penggunaan energi alternatif pengganti bahan bakar fosil, memberikan tiga keuntungan yakni hemat energi, membuka lapangan pekerjaan baru dan penurunan pencemaran lingkungan (Kalogirou, 2004).

Penggunaan energi surya akan mengurangi kebutuhan energi tak terbarukan sehingga dapat mengurangi pemanasan global akibat efek rumah kaca. Penggunaan teknologi pemanas dan pendingin surya selain mampu mengurangi

biaya energi listrik juga memiliki manfaat mengurangi dampak terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi karbon dioksida sebesar 800 Megaton per tahun 2050 (International Energy Agency, 2012).

Untuk dapat memanfaatkan energi radiasi matahari sebagai sumber pemanas digunakan suatu perangkat untuk pengumpul energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna, perangkat ini disebut dengan kolektor surya.

Penelitian tentang kolektor surya bukan ide baru dalam dunia teknologi rekayasa surya, sebelumnya banyak peneliti yang telah meneliti hal ini. Teknologi rekayasa yang dilakukan juga bervariasi baik penelitian mengenai pengaruh per komponen kolektor, material, geometri, variasi sudut datang radiasi, dan lainnya, dengan tujuan meningkatkan unjuk kerja dari kolektor surya.

Salah satu jenis kolektor surya yang memiliki banyak kelebihan adalah kolektor surya pelat datar. Kelebihan kolektor jenis ini adalah dapat memanfaatkan komponen radiasi matahari melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari, desainnya yang sederhana, sedikit memerlukan perawatan, dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri (Duffie, 2013).

Kolektor pelat datar berdasarkan bentuk pipa fluida dan distribusi aliran dibedakan menjadi fluida yang didistribusikan secara seri dan paralel. Kedua sistem memiliki kelebihan dan kekurangan, instalasi paralel lebih umum untuk aplikasi rumah karena panjang pipa lebih pendek dari sistem seri, *head loss* juga



lebih kecil sehingga tekanan yang dibutuhkan dipompa lebih rendah, dan tidak memerlukan pembentukan pipa fluida atau konstruksi lebih sederhana.

Kolektor surya pelat datar aliran paralel konvensional selalu menggunakan *header*, sehingga kolektor jenis ini sering disebut dengan *header riser collector*. Diameter *header* selalu lebih besar daripada diameter pipa *riser*. Tetapi pada penelitian ini diameter pipa *header* yang digunakan sama dengan diameter pipa *riser*. Hal ini dilakukan karena tujuan penggunaan kolektor lebih lanjut dari penelitian ini adalah menggabungkan kolektor dengan panel surya. Diameter *header* yang berbeda dengan diameter pipa *riser* menyebabkan penempelan kolektor pada panel surya tidak sempurna artinya timbul jarak antara pipa *riser* dan panel surya sehingga perpindahan panasnya tidak sempurna. Untuk itu perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari kolektor surya pelat datar aliran paralel menggunakan pipa *riser* dan pipa *header* dengan diameter yang sama.

Pertimbangan–pertimbangan diatas menjadi landasan dalam penyusunan tesis ini dengan judul **“Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Paralel Menggunakan Pipa yang Sama Antara Header dan Riser”**. Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk menguji karakteristik kolektor surya pelat datar berupa efisiensi thermal dan *pressure drop* menggunakan simulator surya berdasarkan pengaruh jarak antar pipa *riser*, arah aliran fluida pada pipa *riser*, pengaruh material pelat *absorber*, kaca penutup, dan laju aliran massa. Pengkajian ini penting karena efisiensi thermal yang tinggi menunjukkan besarnya kalor yang dapat ditransfer oleh kolektor sedangkan *pressure drop* ( $p$ ) yang tinggi

membutuhkan kinerja pompa yang besar sehingga butuh daya listrik yang besar pula.

## 1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kolektor surya aliran paralel berupa efisiensi termal dan *pressure drop* menggunakan simulator surya berdasarkan variasi jarak antar pipa *riser* (W/D), arah fluida pada pipa *riser* dan bahan pelat *absorber*. Tujuan rinci dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan merakit empat buah kolektor, berupa kolektor pelat tembaga sebanyak tiga buah yakni kolektor W/D 8 susunan vertikal, W/D 12 susunan vertikal, dan W/D 8 susunan horizontal, serta satu buah kolektor W/D 8 susunan vertikal dengan pelat aluminium.
2. Mengetahui unjuk kerja termal kolektor berdasarkan pengujian variasi jarak antar pipa *riser* (W/D), arah fluida pada pipa *riser*, laju aliran massa bahan pelat *absorber*, dan penggunaan kaca penutup.
3. Mendapatkan *pressure drop* yang terjadi dari semua jenis pengujian dan membandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *Solid Work*.

## 1.3 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan rekomendasi jarak antar pipa paralel kolektor surya yang memberikan efisiensi termal yang tinggi.
2. Mendapatkan arah aliran yang memberikan efisiensi termal yang tinggi.
3. Mendapatkan perbandingan penggunaan material tembaga dan aluminium sebagai pelat penyerap.

#### 1.4 Batasan Masalah

Untuk menentukan arah penelitian yang baik, ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan simulator surya.
2. Pada pengujian kolektor berdasarkan jarak antar pipa *riser*, jarak yang digunakan adalah 80 mm (kolektor W/D 8) dan 120 mm (kolektor W/D 12). Kedua kolektor ini memiliki susunan pipa *riser* vertikal.
3. Pada pengujian kolektor berdasarkan arah aliran, kolektor yang dibandingkan adalah W/D 8 susunan horizontal dengan kolektor W/D 8 vertikal.
4. Pada pengujian kolektor berdasarkan pelat *absorber*, kolektor yang dibandingkan adalah kolektor W/D 8 pelat aluminium dengan kolektor W/D 8 pelat tembaga.
5. Luas pelat *absorber* kolektor yang akan diuji dengan ukuran panjang 880 mm dan lebar 520 mm.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Kolektor Surya

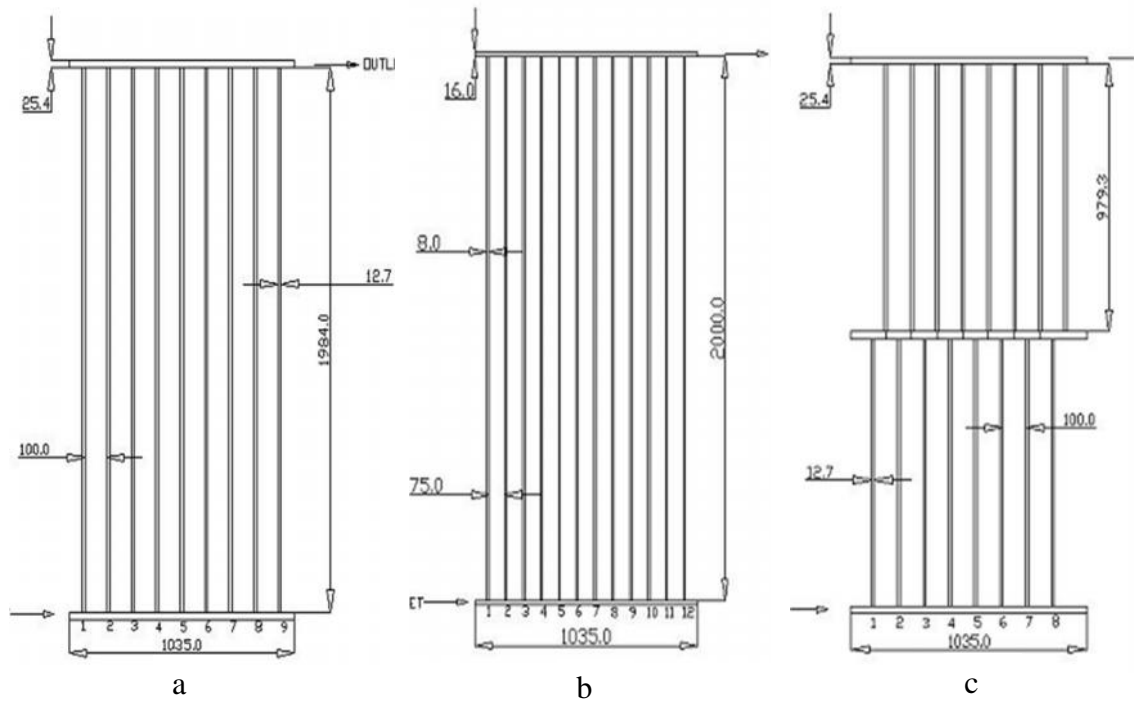
Penelitian terkait yang dibahas pada bab ini adalah penelitian yang berhubungan dengan pengaruh jarak antar pipa paralel (*tube spacing*), arah aliran fluida dalam kolektor, penggunaan material *absorber*, efisiensi pada laju aliran massa berbeda, hal-hal yang mempengaruhi efisiensi kolektor, dan penggunaan kaca penutup pada kolektor.

Penelitian terkait pengaruh jarak antar pipa paralel, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Sivakumar dkk, (2012) tentang penelitian peningkatan unjuk kerja sistem pemanas air energi surya dengan variasi jumlah pipa paralel masing-masing 9 pipa dan 12 pipa dan bentuk pipa Z jumlah 8 pipa dengan komponen lainnya tetap (Gambar 2.1). Hasil penelitiannya menunjukkan aliran Z memiliki efisiensi lebih tinggi diikuti pipa 12 dan 9. Artinya dengan perubahan geometri yang lain perbandingan jumlah pipa dan efisiensi tidak lagi berbanding lurus.

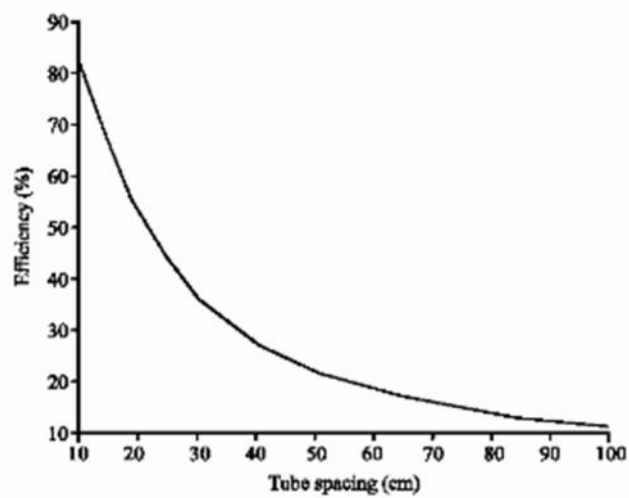
Agbo dan Okeke (2007) melakukan penelitian tentang hubungan efisiensi kolektor dengan jarak antar pipa paralel. Penelitian yang dilakukan berupa simulasi dengan menggunakan MATLAB, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi semakin turun seiring dengan penambahan jarak antar pipa. Jarak optimal

antar pipa *riser* 10 cm dengan efisiensi termal mencapai 80 % dan efisiensi turun seiring dengan penambahan jarak antar pipa *riser*, hal ini ditunjukkan pada Gambar

2.2

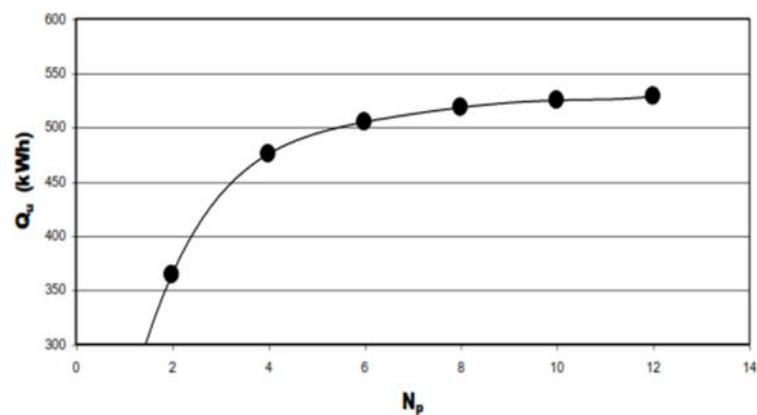


Gambar 2.1. Susunan pipa (a) 9 Pipa *riser* (b) 12 Pipa *riser* (c) Zig-zag (Sivakumar dkk, 2012).



Gambar 2.2. Pengaruh jarak pipa (*tube spacing*) terhadap efisiensi kolektor (Agbo dan Okeke, 2007).

Sumarsono (2005) melakukan penelitian tentang optimasi jumlah pipa pemanas terhadap kinerja kolektor surya pemanas air. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak jumlah pipa pemanas semakin besar energi berguna yang dihasilkan oleh kolektor. Hal ini berarti proses perpindahan panas dari *absorber* ke air yang mengalir di dalam pipa-pemanas lebih efektif pada  $N$  (jumlah pipa) yang lebih banyak. Namun demikian laju kenaikan  $Q_u$  diperlambat sejalan dengan kenaikan  $N_p$ , dan menjadi konstan pada  $N_p > 8$ . Grafik Hasil penelitiannya ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pengaruh jumlah pipa pemanas terhadap energi berguna (Sumarsono, 2005).

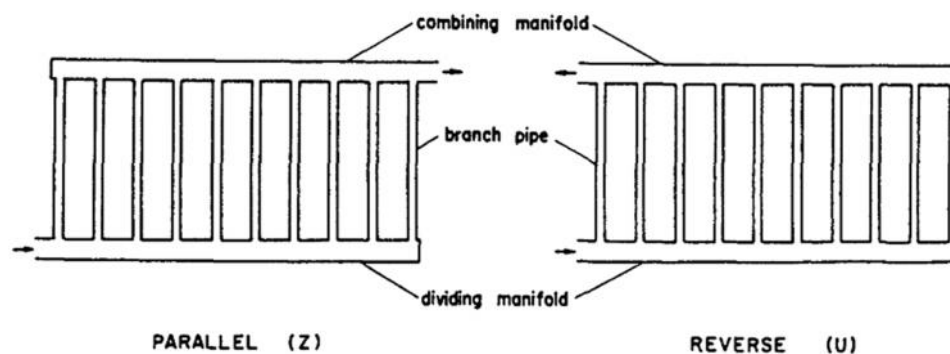
Matrawy dan Farkas (1997) melakukan penelitian tentang unjuk kerja termal kolektor dengan membandingkan tiga buah kolektor yang berbeda untuk pemanas air. Tiga buah kolektor yang dibandingkan yakni *two parallel plate collectors* (TPPC), *parallel tubes collectors* (PTC) dan *serpentine tube collectors* (STC). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kolektor dengan dua pelat penyerap

(TPPC) memiliki efisiensi termal 6% lebih besar dari STC dan 10 % lebih besar dari PTC.

Ghamari dan Worth (1992) melakukan penelitian tentang pengaruh jarak antar pipa *riser* terhadap efektifitas biaya kolektor pelat datar. Penelitian ini memasukkan faktor biaya pembuatan kolektor di wilayah Fiji untuk mencari jarak optimum antar pipa *riser*. Hasil penelitiannya jarak optimum antar pipa *riser* (*tube spacing*) adalah 160 mm untuk wilayah Fiji dan mungkin berbeda untuk wilayah lainnya.

Penelitian mengenai arah aliran dan pressure drop juga banyak dilakukan diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Wu (1990). Penelitian ini bertujuan menganalisis dan unjuk kerja kolektor surya dengan susunan pipa paralel dengan arah aliran Z dan U (Gambar 2.4).

Penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi termal tertinggi diberikan oleh arah aliran Z dibanding Aliran U tetapi pressure drop aliran U lebih kecil dibanding aliran Z (Tabel 2.1). Hal ini menunjukkan bahwa arah aliran masuk dan keluar kolektor sangat berpengaruh kepada unjuk kerja kolektor.



Gambar 2.4. Arah Aliran Kolektor Z dan U (Wang dan Wu, 1990).

Tabel 2.1. Data dan hasil penelitian (Wang and Wu, 1990).

Parameter	Susunan Z	Susunan U
Laju aliran Massa (kg/h)	997	1000
Temperatur Masuk fluida (°C)	16,5	16,5
Temperatur keluar fluida (°C)	33,5	29,4
Temperatur Ambien(°C)	21,5	21,5
Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	700	700
<i>Pressure drop</i> (pa)	3320	454
Efisiensi %	58,5	44,5

Ziqian Chen dkk, (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh laju aliran massa yang berbeda terhadap efisiensi termal dari kolektor pelat datar. Penelitian ini merancang kolektor yang sama. Namun, salah satu kolektor dilengkapi dengan ETFE foil antara *absorber* dan kaca penutup dan yang lainnya adalah tanpa ETFE foil. Efisiensi kolektor diuji pada *flow rate* yang berbeda. Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa kolektor dengan foil ETFE memiliki efisiensi yang lebih baik. Laju aliran massa dinaikkan akan menaikkan efisiensi dan menurunkan koefisien kehilangan panas.

Material *absorber* dan pipa *riser* paling umum digunakan adalah tembaga dan material lain biasanya aluminium dan *stainless steel*. Pada saat ini harga tembaga terus naik sehingga peneliti sudah melakukan penelitian perbandingan penggunaan material pengganti tembaga. Penelitian tentang bahan kolektor diantaranya dilakukan oleh Nahar yaitu penelitian mengganti pipa *riser* tembaga dengan *galvanized steel* dan pelat *absorber* tembaga dengan aluminium. Hasilnya didapatkan bahwa efisiensi hampir sama sekitar 51,9 %. Dengan biaya untuk



*galvanized steel*-Aluminium Rs. 8.000,00 dan untuk pelat tembaga dan pipa tembaga Rs. 10.250,00 (Nahar, 2001).

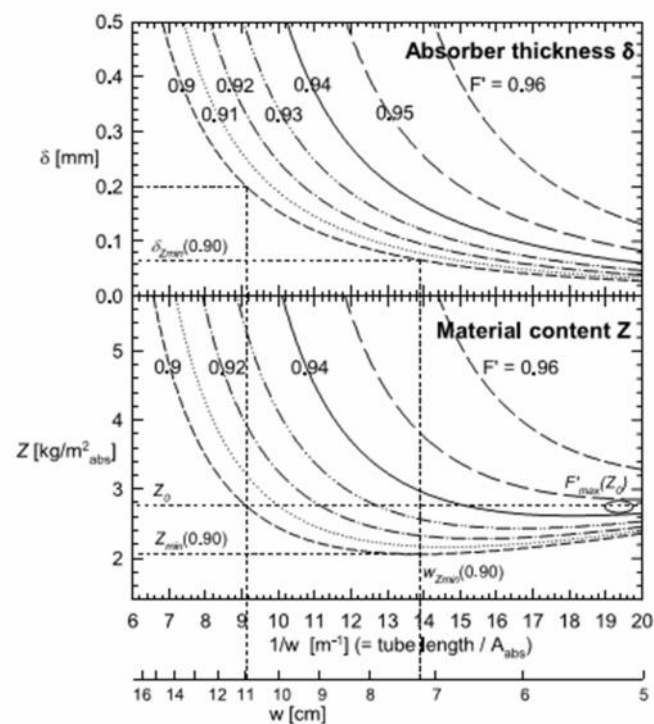
Lenel (1982) melakukan review penelitian tentang penggunaan material untuk komponen sistem pemanas air tenaga surya. Hasil review menjelaskan bahwa kandidat-kandidat pelat penyerap dan komponen pendukung yang bisa digunakan pada kolektor. Desain pelat penyerap yang baik tergantung konduktivitas termal material pelat yang digunakan. Kandidat material cover, casing, seal, dan insulation yang baik digunakan dengan menjelaskan sifat materialnya.

Queen dkk, (1980) melakukan review penelitian tentang pemilihan material untuk kolektor pelat datar. Penelitian ini dilakukan untuk memilih material yang tepat untuk *cover, absorber, isolation* dan *mounting*. Hasil review menjelaskan bahwa pelat penyerap (*absorber*) diperiksa dari sudut pandang lapisan yang digunakan (*coating*), konservasi konduktivitas termal material, kemudahan pembuatan dan ketahanan korosi. Cover harus memiliki transmisi tinggi, rendah refleksi dan tidak mudah patah. Untuk isolasi dan mounting harus tahan terhadap perubahan suhu ekstrim, ringan dan dapat menyokong kolektor.

Bolaji (2006) melakukan penelitian tentang unjuk kerja *solar water heater* aliran paralel dengan sirkulasi alami di Nigeria. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi termal kolektor dipengaruhi oleh laju aliran massa dan intensitas radiasi matahari. Dimana efisiensi tertinggi sebesar 68,5 % yang didapat pada siang hari dengan laju alir optimum  $0,1 \text{ kg.s.m}^2$ .

Menurut James Allan dkk, (2015) berdasarkan penelitiannya terhadap perbandingan efisiensi thermal antara kolektor jenis *serpentine* dan header *riser* pada kondisi tanpa tutup (*uncovered*) dengan simulator. Kolektor dengan jenis *header riser* memiliki *heat loss coefficient* yang tinggi dibandingkan dengan jenis *serpentine* karena aliran pada jenis header *riser* melewati banyak pipa sehingga luas permukaan perpindahan panas dengan laju udara ambien sangat tinggi.

Eisenmann dkk, (2003) meneliti tentang korelasi antara faktor efisiensi kolektor dan material pada kolektor plat datar aliran paralel. Faktor efisiensi kolektor dipengaruhi oleh jarak antar pipa, tebal pelat dan material kolektor yang ditampilkan dalam sebuah nomograph (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Nomograph sebagai alat desain untuk kolektor plat datar dengan sirip dan geometri tabung (Eisenmann dkk, 2003).

Rojas dkk, (2007) melakukan penelitian tentang pengujian efisiensi termal kolektor pelat datar. Penelitian ini membandingkan hasil yang diperoleh dengan

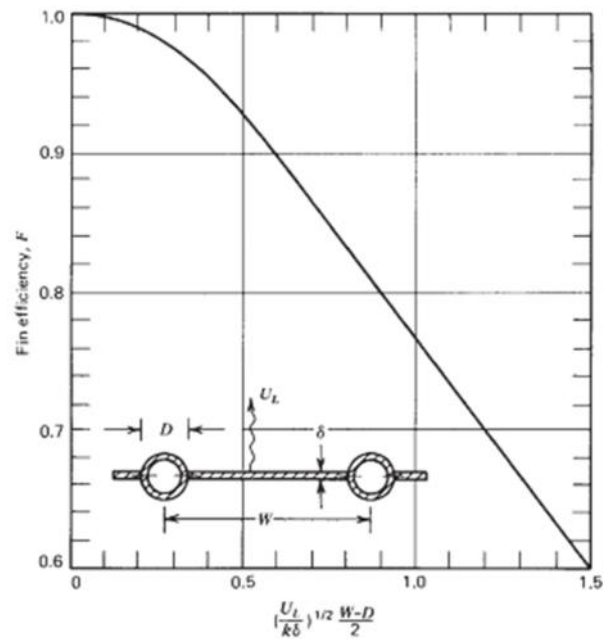
menerapkan standar EN 12975-2 dengan hasil yang diperoleh dari ASHRAE 93. Salah satu hasil penelitiannya menjelaskan bahwa kedua standar ini cocok diterapkan pada kolektor pelat datar *single cover*.

Gallardo dkk, (2013) melakukan penelitian tentang faktor efisiensi untuk kolektor pelat datar aliran paralel. Salah satu hasil penelitiannya bahwa faktor efisiensi kolektor jenis *tubes centered in the plate* lebih baik dibanding *tubes on top of a plate* dan *tubes under a flat plate*.

Davide Del Col dkk, (2013) meneliti unjuk kerja thermal pelat datar kolektor surya dengan pelat yang ditekuk sesuai bentuk/*roll-bond* ukuran pipa yang digunakan dibandingkan dengan pelat datar yang tidak ditekuk. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pelat datar yang ditekuk sesuai bentuk pipa lebih baik dibandingkan dengan pelat datar yang tidak ditekuk.

Kicsiny (2014) melakukan penelitian tentang penggunaan metode *Multiple linear regression* untuk mencari unjuk kerja termal kolektor. Penelitian ini membandingkan model fisika dan model MLR dalam analisa kolektor. Hasilnya model MLR memberikan hasil yang lebih akurat.

Duffie and Beckman (2013) menyatakan hubungan faktor efisiensi terhadap jarak antar pipa paralel (*tube spacing*) dalam bentuk grafik pada Gambar 2.6. Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa efisiensi berbanding terbalik dengan jarak antar pipa paralel.



Gambar 2.6. Grafik faktor efisiensi kolektor terhadap jarak pipa (Duffie, 2013).

Berdasarkan beberapa literatur yang sudah disajikan sebelumnya, maka secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar jarak antar pipa paralel (*tube spacing*) maka semakin kecil efisiensi termal dari kolektor tersebut. Tetapi ada jarak terkecil atau jarak yang direkomendasikan karena kalau jarak antar pipa *riser* semakin kecil maka kecenderungan kenaikan efisiensi tidak linear lagi dengan pengurangan jarak antar pipa *riser* tetapi malah akan menambah biaya pembuatan kolektor. Dari literatur juga diketahui arah aliran, laju aliran massa, desain kolektor, kondisi pengujian mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap unjuk kerja termal kolektor.

## 2.2 Energi Surya

Energi merupakan persoalan yang sangat penting di dunia, peningkatan permintaan energi berbanding terbalik dengan jumlah cadangan energi. Oleh karena itu pemerintah Indonesia memprioritaskan pengembangan terhadap energi

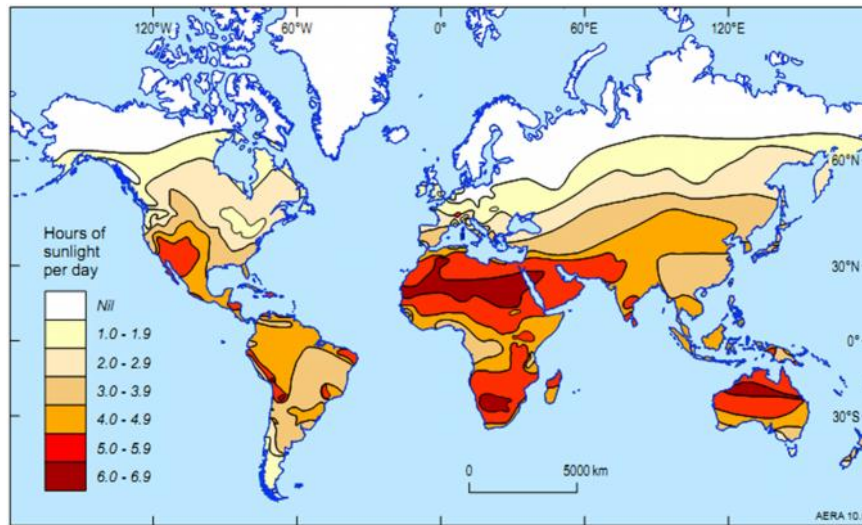
terbarukan. Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber energi yang alami yang berkelanjutan bila dikelola dengan baik dan tidak akan pernah habis. Contoh energi terbarukan adalah panas bumi, angin air, gelombang air laut, biomassa, biogas dan energi matahari. Potensi energi terbarukan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia tahun 2014 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015).

No	Jenis Energi	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang	Pemanfaatan
1	Hidro	75.000 MW	8.111 MW	10,81 %
2	Panas bumi	28.910 MW	1.403,5 MW	4,9 %
3	Biomassa	32.000 MW	1.740,4 MW	5,4 %
4	Surya	4,8 kWh/m <sup>2</sup> /day	71,02 MW	-
5	Angin dan Hybrid	3-6 m/s	3,07 MW	-
6	Samudera	49 GW	0,01 MW	-
7	Uranium	3000 MW	30 MW	-

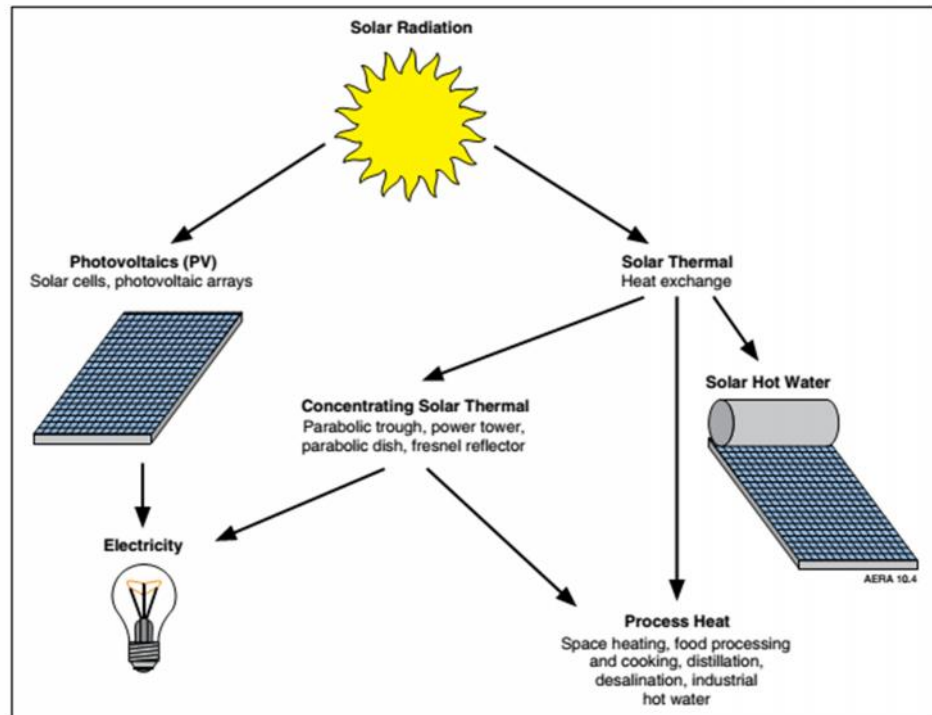
Salah satu energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari matahari. Matahari merupakan sumber energi terbesar bagi kehidupan di bumi. Sumber energi surya tahunan bervariasi di belahan dunia. Ini ditunjukkan pada Gambar 2.7 yang menggambarkan variasi ketersediaan energi surya di berbagai belahan dunia.

Menurut Holman (1986) radiasi surya (*solar radiation*) merupakan salah satu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang yang khusus. Intensitasnya sangat bergantung dari kondisi atmosfer dan sudut datang (*angle of incidence*) sinar matahari di permukaan bumi. Pada batas luar atmosfer, iradiasi surya total adalah 1395 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 2.7. Potensi ketersediaan energi surya  
(Australian Department of Industry, 2009)

Energi matahari juga dapat disimpan dan dikonversi menjadi bentuk daya lain. Energi matahari merupakan salah satu energi alternatif yg ramah lingkungan tidak menimbulkan polusi dan dapat diperbarui karena ketersediannya yg terus menerus. Radiasi matahari dapat digunakan untuk menghasilkan energi termal untuk pemanas air, sebagai sumber pemanas pada siklus pemanas mesin sebagai tenaga gerak dan sumber listrik dari penggunaan sel *photovoltaic* yang dipancarkan matahari. Energi tersebut didapat dengan mengkonversi energi radiasi matahari melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Pemanfaatan energi radiasi matahari tersebut seperti ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pemanfaatan Energi Radiasi Matahari  
(Australian Department of Industry, 2009)

### 2.3 Kolektor Surya

Pemanfaatan energi matahari dapat dibagi menjadi dua yaitu: sistem aktif dan sistem pasif. Perbedaan antara kedua sistem ini adalah ada atau tidaknya pengumpul surya (kolektor) pada sistem tersebut. Kolektor adalah kunci dari sistem aktif, sedangkan sistem pasif hanya mengandalkan sinar matahari yang datang secara alami tanpa menggunakan kolektor.

Pengumpul surya (*solar collector*) adalah suatu alat yang memanfaatkan energi termal dari radiasi matahari yang kemudian diteruskan kepada fluida kerjanya. Menurut cara pengumpulan energi surya, pengumpul surya dibagi menjadi pengumpul terkonsentrasi (*concentrating solar collector*) dan pengumpul tidak terkonsentrasi (*non-concentrating solar collector*). Pengumpul surya terkonsentrasi umumnya memiliki reflektor yang mengkonsentrasikan radiasi

surya ke arah bagian pelat penyerap. Pengumpul surya tidak terkonsentrasi, langsung memanfaatkan terpaan radiasi surya untuk memanaskan pelat penyerap melalui efek rumah kaca.

Kolektor surya merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir ke dalamnya dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan dapat berupa cairan, minyak, oli, dan udara. Kolektor surya pun dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa pelat penyerap 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 (Duffie, 1991).

Kolektor surya yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

1. *Cover* berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan.
2. *Absorber* berfungsi untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari.
3. *Kanal* berfungsi sebagai saluran transmisi fluida kerja.
4. *Isolator* berfungsi meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari *absorber* menuju lingkungan.
5. *Frame* berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.

Berdasarkan posisi dan gerakanya kolektor surya dapat dikategorikan pada sistem tetap (*stationer*), *single-axis tracking*, dan *two-axis tracking*. Kolektor surya sistem



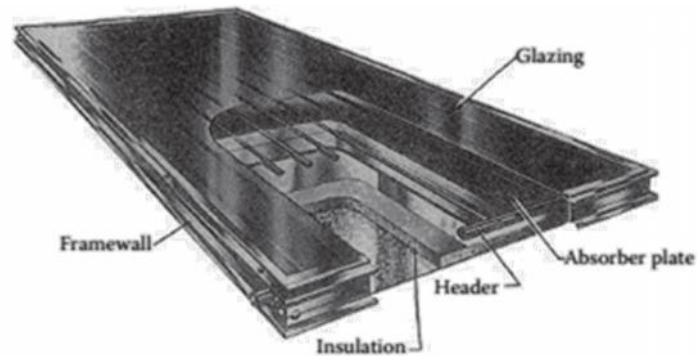
*stationer* adalah kolektor permanen atau tetap di posisi dan tidak melacak matahari. Ada tiga jenis utama yang termasuk dalam kategori kolektor ini:

1. *Flat plate collector* (FPC).
2. *Stationary compound parabolic collector* (CPC).
3. *Evacuated tube collector* (ETC).

### **1. Kolektor Surya Pelat Datar/ *Flat-Plate Collectors***

Kolektor surya plat datar mempunyai temperatur keluaran dibawah  $95^{\circ}\text{C}$ . Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air (Goswani, 1999). Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasimatahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri (Duffie, 1991).

Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperatur di bawah  $100^{\circ}\text{C}$ . Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari pelat penyerapnya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas termal tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor pelat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpencar (*beam* dan *diffuse*), tidak membutuhkan pelacak matahari, dan hanya membutuhkan sedikit perawatan. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor pelat datar antara lain; *transparent cover (glazing)*, *absorber*, insulasi, dan kerangka (*frame*).



Gambar 2.9. Kolektor surya pelat datar/*flat-plate collectors* (Goswani, 1999).

### ***Glazing***

*Glazing* kolektor memiliki dua fungsi utama. Pertama adalah menghentikan kehilangan panas dari *absorber* dengan menghalangi radiasi yang dipancarkan. Kedua, melindungi *absorber* dari kontak udara eksternal. *Glazing* terbuat dari bahan transparan, terutama kaca atau plastik.

Transmitansi kaca  $\tau$ , tergantung pada kualitas dan pada sudut datang dari radiasi sinar matahari. Untuk sinar yang datang tegak lurus, memantulkan sekitar 8% dari radiasi matahari. Pengotor dalam kaca seperti besi bisa meningkatkan kapasitas absorpsi. Sebuah kaca dengan tebal 3mm kaca dapat menyerap radiasi di kisaran 1% - 5%, biasanya rata-ratanya sekitar 2%. Transmitansi ketika radiasi matahari tidak tegak lurus ke permukaan kolektor nilainya sedikit lebih rendah.

### ***Absorber***

Dalam setiap kolektor surya komponen paling penting adalah *absorber*, dimana *absorber* berfungsi mengambil radiasi matahari dan yang

mengubahnya menjadi panas yang ditransfer ke fluida kerja dengan kerugian tertentu.

Absorber paling umum digunakan adalah tembaga dan yang lain biasa aluminium dan stainless steel, karena konduktivitas termal dari bahan ini cukup tinggi. Pada saat ini harga tembaga terus naik sehingga peneliti mencoba mencari alternatif material lain dengan nilai efisiensi yang tidak jauh berbeda. Nahar, 2001 telah meneliti mengganti pipa tembaga dengan *galvanized steel* dan pelat tembaga dengan aluminium hasilnya didapatkan bahwa efisiensi hampir sama sekitar 51,9 %. Dengan biaya untuk *galvanized steel*-Aluminium Rs. 8.000,00 dan untuk pelat tembaga dan pipa tembaga Rs. 10.250,00. Supaya *absorber* dapat menyerap radiasi matahari maka *absorber* harus berperilaku seperti benda hitam, sehingga *absorber* perlu dilapisi atau dicat hitam.

### **Insulation**

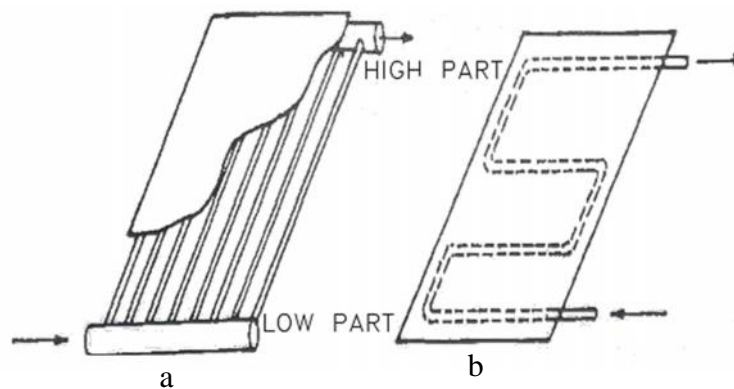
*Absorber* mempunyai suhu lebih tinggi dari lingkungan, akibatnya transfer panas ke lingkungan dapat terjadi. sehingga emisi panas diterima kolektor bisa berkurang. Dalam rangka mengurangi emisi panas yang pindah ke lingkungan tersebut perlu diinstal lapisan termal insulator dengan tebal 4 – 5cm. Kapasitas untuk menghindari kehilangan panas tergantung pada sifat fisik isolator, sehingga dalam memilih isolator harus mempertimbangkan konduktivitas termal yang rendah, densitas rendah dan harga juga rendah.

### **Pipe Riser**

Terdapat dua jenis bentuk pipa fluida yang dikenal dalam penggunaan kolektor surya, yang pertama fluida didistribusikan secara seri dan kedua secara paralel (Gambar 2.10). Pada instalasi pipa *riser* secara seri, pada awalnya, suhu di semua pelat adalah konstan. Ketika air dingin mulai mengalir melalui pipa, perpindahan panas terjadi anatar pelat dan pipa *riser* sehingga suhu di sepanjang pipa berbeda. Dalam hal ini suhu kerja teoritis yang digunakan untuk memecahkan persamaan sulit ditetapkan karena distribusi temperatur sepanjang permukaan pelat tidak mengikuti trend linier.

Dalam instalasi di pipa paralel, distribusi dari suhu sepanjang permukaan pelat lebih linear, karena fakta bahwa fluida masuk dan keluar dari pipa paralel diperkirakan pada suhu yang sama untuk semua pipa. Tetapi Ini hanya dalam teori, karena diketahui bahwa distribusi aliran tidak konstan untuk semua pipa paralel. Pipa-pipa yang pertama dilalui oleh fluida akan memiliki aliran lebih besar daripada pipa yang terakhir karena perbedaan inilah sehingga temperatur disemua pipa tidak akan sama.

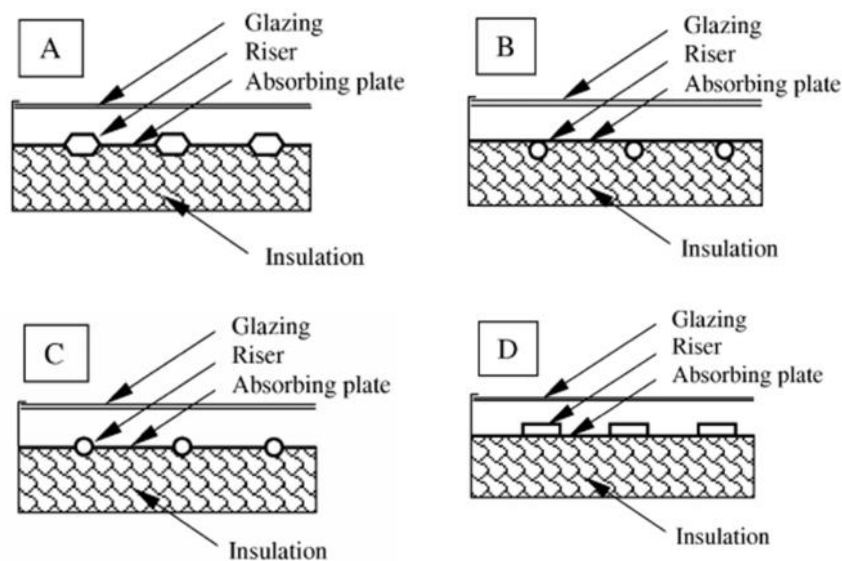
Meskipun kedua sistem memiliki hal baik dan buruk, instalasi paralel lebih umum untuk aplikasi rumah karena panjang pipa lebih pendek dari sistem seri, *head loss* juga lebih kecil sehingga tekanan yang dibutuhkan dipompa lebih rendah. Di sisi lain kolektor seri, mempunyai laju aliran yang sangat tinggi dan itu berjalan dalam aliran turbulen, yang memungkinkan transfer panas tinggi dalam sistem, dalam sistem paralel laju aliran ini lebih rendah dan tidak termasuk dalam aliran turbulen, sehingga panas yang ditransfer lebih rendah (Alvaro, 2009).



Gambar 2.10. Pemasangan pipa *riser* (a) Paralel (b) Seri (Alvaro, 2009).

Sifat mekanika fluida yang menyokong laju aliran pada pipa terakhir membuat tekanan fluida pada bagian bawah pipa pertama paling besar dan bagian atas pipa terakhir paling kecil. Pada kasus jenis paralel dengan header yang lebih besar, tekanan fluida akan lebih menyesuaikan dan laju aliran fluida pada setiap pipa vertikal lebih mendekati keseragaman. Tapi disayangkan bahwa bagian tengah pipa vertikal akan memiliki nilai laju aliran fluida yang lebih rendah, padahal bagian tengah merupakan bagian dimana banyak energi panas yang terkonsentrasi disana. Pada proses pembuatannya, yang perlu diperhatikan adalah saat pengelasan di bagian T setiap pipa vertikal. Karena sedikit bocor pada bagian ini akan mengganggu seluruh proses pemanasan di dalam kolektor surya. Pada proses pembuatannya jenis pipa seri, yang perlu diperhatikan adalah saat menekuk (*bending*) bagian pipa agar jangan sampai material menjadi rusak.

Ada beberapa cara penyambungan atau pemasangan pipa pada pelat penyerap pada pelat datar untuk fluida perpindahan panas air seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11. Tipe pemasangan pipa ke pelat penyerap pada kolektor surya pelat datar (Kalogirou, 2004).

Ada dua tipe dasar dari *flat plate collector* berdasarkan fluida yakni *liquid type flat plate collector* dan *Air types of collectors*. Jenis kolektor udara lebih umum digunakan untuk pengeringan pertanian dan aplikasi ruang pemanas. Keuntungan jenis kolektor udara ada dua: (1) sensitivitas rendah kebocoran dan (2) tidak dibutuhkan alat penukar panas tambahan. Namun, karena kapasitas panas udara dan koefisien perpindahan panas konveksi antara penyerap dan udara yang rendah, maka dibutuhkan area perpindahan panas dan laju aliran yang lebih besar. Sebagaimana diketahui panas spesifik air 4180 J/kg.K sedangkan udara 1000 J/kg.K.

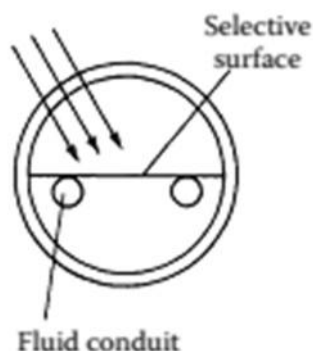
## 2. *Stationary compound parabolic collector (CPC)*

Kolektor jenis *compound parabolic collector (CPC)* merupakan *non-imaging collector*. Kolektor surya jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu *receiver*, sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas

yang diserap oleh *absorber*. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmisiivitas tinggi.

### 3. Evacuated Tube Collectors

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



Gambar 2.12. *Evacuated tube flat plate collectors* (Goswani, 1999).

### 2.4 Tinjauan Perpindahan Panas

Pada suatu kolektor pelat datar proses perpindahan panas yang terjadi terdiri dari tiga cara perpindahan panas yakni panas mengalir secara konduktif sepanjang pelat penyerap dan melalui dinding saluran. Kemudian panas dipindahkan ke fluida dalam saluran dengan cara konveksi. Pelat penyerap yang panas itu

melepaskan panas ke penutup kaca (umumnya menutupi kolektor) dengan cara konveksi alamiah dan dengan cara radiasi.

#### **2.4.1 Konduksi**

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan energi sebagai panas melalui sebuah proses medium stasioner. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan energi timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih energetik, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan energi kepada atom-atom yang lebih lesu yang berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni panas. Di dalam logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran panas. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga giat (mudah bergerak), dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul (Perkins, 1983).

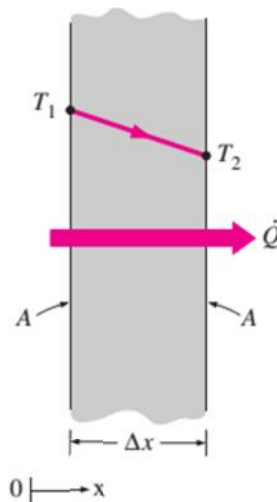
Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian suhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Hubungan dasar perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Prancis, J.B.J. Fourier, pada tahun 1882.

Hubungan ini menyatakan bahwa  $\dot{Q}$ , laju perpindahan panas bahan, sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran berikut:

1. Konduktivitas termal bahan.
2. Luasan penampang dimana panas mengalir secara konduksi.
3. Gradien suhu pada penampang tersebut.



Jika suatu perpindahan panas konduksi terjadi disuatu bidang datar dengan tebal  $\Delta x$  dan luas  $A$  dapat diilustrasikan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Perpindahan panas konduksi melewati bidang dengan tebal  $\Delta x$  dan luas  $A$  (Cengel, 2003).

Persamaan :

$$\dot{Q}_{cond} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana :

$\dot{Q}_{cond}$  = laju perpindahan panas konduksi (kJ/s).

$k$  = konduktivitas termal bahan (W/mK).

$A$  = luas penampang ( $m^2$ ).

Perpindahan panas konduksi yang melewati suatu bahan tergantung pada material bahan tersebut karena setiap material memiliki konduktivitas termal tersendiri dan tergantung dengan temperatur bahan tersebut (Tabel 2.3). Nilai konduktivitas termal itu menunjukkan berapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu.

Tabel 2.3. Konduktivitas termal bahan pada suhu 300 K (Cengel, 2003)

Pure metal or alloy	$k$ , W/m · °C, at 300 K
Copper	401
Nickel	91
<i>Constantan</i> (55% Cu, 45% Ni)	23
Copper	401
Aluminum	237
<i>Commercial bronze</i> (90% Cu, 10% Al)	52

### 2.4.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi terjadi apabila panas bergerak dari suatu tempat ke tempat lain dengan medium fluida. Perpindahan panas dengan cara ini disebut konveksi. Konveksi terjadi akibat dari perubahan panas jenis yaitu ekspansi bagian fluida yang dipanaskan.

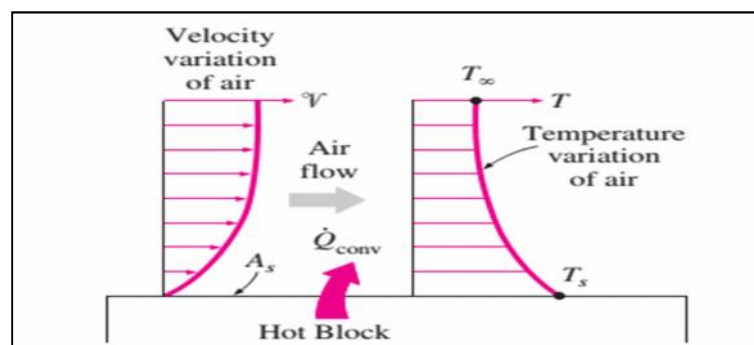
Konveksi terbagi menjadi dua. Apabila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan maka disebut konveksi alami, dan apabila perpindahannya dengan dorongan maka disebut konveksi paksa.

Besarnya konveksi tergantung pada :

1. Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida ( $A$ )
2. Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida ( $T$ )
3. Koefisien konveksi ( $h_c$ ), yang tergantung pada:
  - a. Viskositas fluida
  - b. Kecepatan fluida
  - c. Perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida

- d. Kapasitas panas fluida
- e. Rapat massa fluida
- f. Bentuk permukaan kontak

Jika suatu bahan mempunyai temperature tertentu maka kecepatan perpindahan panas konveksinya tergantung dari kecepatan udara atau temperature udara ambien (Gambar 2.14).



Gambar 2.14. Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara (Cengel, 2003)

Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dengan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan persamaan konveksi :

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Dimana :

$\dot{Q}_{conv}$  = laju perpindahan panas konveksi [kJ/s]

$A_s$  = luasan perpindahan panas [ $m^2$ ]

$T_s$  = suhu permukaan [ $^{\circ}C$ ]

$T_{\infty}$  = suhu lingkungan [ $^{\circ}C$ ]

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi [ $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ]

### 2.4.3 Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan energi oleh penjalaran (rambatan) foton yang tak terorganisir. Setiap benda yang terus memancarkan foton-foton secara serampangan di dalam arah dan waktu, dan energi netto yang dipindahkan oleh foton-foton ini diperhitungkan sebagai panas. Bila foton-foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76  $\mu\text{m}$ , maka foton-foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak (dapat dilihat). Berlawanan dengan itu, maka setiap energi foton yang terorganisir, seperti transmisi radio, dapat diidentifikasi secara mikroskopik dan tidak dipandang sebagai panas.

Bila foton-foton yang diradiasikan mencapai permukaan lain, maka foton-foton tersebut akan diserap, direfleksikan, maupun diteruskan melalui permukaan tersebut. Tiga sifat-sifat permukaan yang mengukur kuantitas -kuantitas ini adalah:

- a. absorptivitas, bagian radiasi yang masuk yang diserap
- b.  $\rho$  reflektivitas, bagian radiasi yang masuk yang direfleksikan
- c.  $\tau$  transmittivitas, bagian radiasi yang masuk yang ditransmisikan

Berdasarkan persentase sinar datang maka jumlah ketiga sifat permukaan sama dengan satu seperti didiuraikan sebagai berikut :

$$+ \rho + \tau = 1 \quad (3)$$

Pada proses radiasi, energi termis diubah menjadi energi radiasi. Energi ini termuat dalam gelombang elektromagnetik, khususnya daerah inframerah (700

mm – 100  $\mu$ m). Saat gelombang elektromagnetik tersebut berinteraksi dengan materi energi radiasi berubah menjadi energi termal.

Pada dasarnya, setiap benda diatas temperatur nol absolut memancarkan energi dalam bentuk radiasi akibat perubahan kedudukan electron yang mengorbit dalam atom atau molekul yang menyusun benda tersebut. Tingkat radiasi yang dipancarkan tergantung pada suhu benda tersebut.

Radiasi maksimum yang bisa dipancarkan dari suatu permukaan benda pada suhu absolute ( $T_s$ ) (dalam K atau K) diberikan oleh hukum Stefan–Boltzmann sebagai berikut :

$$\dot{Q}_{emit,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

Benda yang memancarkan radiasi maksimum ini disebut dengan benda hitam. Biasanya radiasi yang dipancarkan permukaan benda adalah kurang dari radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam di suhu yang sama, dan dinyatakan sebagai :

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (5)$$

Dimana :

$\dot{Q}_{emit}$  = Radiasi yang dipancarkan [Watt]

$\varepsilon$  = emisivitas [ $0 < \varepsilon < 1$ ]

$\sigma$  = konstanta Boltzmann :  $5.67 \times 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

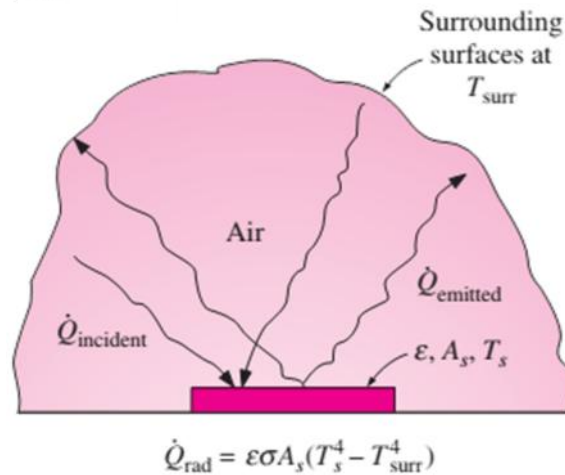
$A_s$  = Luas permukaan [m<sup>2</sup>]

$T_s$  = Temperatur permukaan[K]

Ketika suatu benda yang mempunyai Emisivitas  $\varepsilon$ , Luas Permukaan  $A_s$  pada temperatur absolut  $T_s$  ditutup sempurna dengan suatu permukaan batas pada temperatur absolut  $T_{surr}$  yang dipisahkan oleh gas atau udara yang tidak bisa di

intervensi dengan radiasi lain (Gambar 2.15), maka laju perpindahan radiasi benda terhadap permukaan diberikan oleh persamaan :

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (6)$$



Gambar 2.15. Perpindahan panas radiasi dari suatu permukaan ke Lingkungannya (Cengel, 2002)

## 2.5 Perhitungan Efisiensi Thermal Kolektor Surya Pelat Datar

Efisiensi dari kolektor surya dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang berguna dari kolektor ke air dengan energi yang diterima kolektor. Unjuk kerja kolektor surya digambarkan dengan keseimbangan energi yang menunjukkan distribusi energi surya datang kemudian dikonversi menjadi energi yang berguna dan panas yang hilang. Dalam kondisi *steady* output energi yang berguna dari kolektor dengan luas penampang  $A_c$  adalah perbedaan antara radiasi matahari diserap dan kehilangan panas (Duffie, 2013) yang diberikan oleh persamaan :

$$Q_u = A_c [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (7)$$

Dimana :

$D$	= Energi panas yang berguna (W atau J/s)
$\frac{Q_u}{A_c}$	= Luas Kolektor ( $m^2$ )
$S$	= Radiasi yang diserap kolektor ( $W/m^2$ )
$\frac{A_s}{UL}$	= Absorbansi ( $W/m^2.K$ )
$\frac{S_L}{T_{pm}}$	= Tempertur pelat <i>absorber</i> ( $^{\circ}C$ )
$\frac{U_a}{T_a}$	= Tempertur lingkungan ( $^{\circ}C$ )
$\left(\frac{pm}{a}\right)$	= Tempertur pelat <i>absorber</i> ( $^{\circ}C$ )
$(\tau\alpha)_e$	= Tempertur lingkungan ( $^{\circ}C$ )
	<i>incidence transmittance – absorbance</i>

Permasalahan pada Persamaan (7) adalah temperatur pelat *absorber* rata-rata sulit untuk dihitung atau diukur karena merupakan fungsi dari desain kolektor, surya insiden radiasi, dan kondisi fluida masuk. oleh karena itu perhitungan persamaan (7) dapat menggunakan temperatur fluida masuk dan temperatur rata-rata (Persamaan (8) dan (9)) sesuai dengan ketentuan yang telah diperkenalkan oleh *Hottel-Whillier-Bliss* melalui parameter yang disebut *removal factor* ( $F_R$ ) kolektor panas dan faktor efisiensi kolektor ( $F'$ ). Oleh karena itu persamaan untuk panas berguna dari kolektor menjadi (Amrizal, 2010) :

$$Q_u = A_c F_R [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{fi} - T_a)] ; \quad \text{Persamaan dengan menggunakan} \\ \text{temperatur fluida masuk } (T_{fi}). \quad (8)$$

$$Q_u = A_c F' [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_m - T_a)] ; \quad \text{Persamaan dengan menggunakan} \\ \text{temperatur fluida rata-rata } (T_m).$$

$$T_m = (T_{fo} - T_{fi})/2 \quad (9)$$

Untuk nilai energi berguna yang diberikan kolektor ke fluida dapat dicari dengan Persamaan (10):

$$Q_u = \dot{m} \times C_p \times (T_{fo} - T_{fi}) \quad (10)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{Energi panas yang berguna (W atau J/s)} \\ \dot{m} &= \text{Laju aliran massa air (kg/s)} \\ C_p &= \text{Panas spesifik air (J/kg.K)} \\ T_{fo} &= \text{Tempertur fluida Keluar (K)} \\ T_{fi} &= \text{Tempertur fluida Masuk (K)} \end{aligned}$$

Maka kesetimbangan energi menjadi diuraikan pada Persamaan (11):

$$\dot{m} \times C_p \times (T_{fo} - T_{fi}) = A_c F_R [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (11)$$

Dimana *removal factor* ( $F_R$ ), dijabarkan pada Persamaan (12):

$$F_R = \dot{m} \times C_p \times (T_{fo} - T_{fi}) / A_c [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (12)$$

Persamaan (12) bisa dijabarkan lagi menjadi Persamaan (13):

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (13)$$

Pada kondisi konstan selama periode tertentu, efisiensi dapat dihitung dengan

Persamaan (14):

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (14)$$

Dimana :

$\eta$  : efisiensi

$Q_u$  : energi berguna

$I_T$  : incident solar radiation

$A_c$  : Luas penampang



Koefisien Kehilangan panas menyeluruh  $U_L$  adalah fungsi secara kompleks dari rancangan konstruksi dan kondisi pengoperasian sebuah kolektor. Kehilangan panas menyeluruh sebuah kolektor terjadi pada sisi bagian atas, bawah dan samping kolektor, yang digambarkan pada Persamaan (15) (Kalogirou, 2003).

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (15)$$

Dimana:

$U_L$  = koefisien Kehilangan panas total;

$U_t$  = koefisien Kehilangan panas bagian atas;

$U_b$  = koefisien Kehilangan panas bagian bawah;

$U_e$  = koefisien Kehilangan panas bagian samping.

Kehilangan panas bagian atas kolektor adalah panas yang hilang dari bagian atas pelat *absorber* karena adanya proses perpindahan panas konveksi alami dan radiasi dari pelat kolektor bagian dalam ke permukaan kaca. Dan panas ini dikonduksikan melalui kaca ke permukaan luarnya yang kemudian dipindahkan ke atmosfer luar secara konveksi dan radiasi. Untuk Kehilangan panas secara konduksi pada pelat kolektor dapat diabaikan karena tebal cover dan sirip pelat *absorber* kecil sehingga perbedaan temperatur tidak begitu signifikan.

Nilai koefisien kehilangan panas bagian atas untuk kolektor dengan 2 (dua) lapis cover/penutup secara teori dapat didekati dengan Persamaan (16):

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (16)$$

Tahanan kaca penutup/ cover terhadap lingkungan  $R_1$  dan tahanan antara 2 (dua) kaca penutup dapat diperoleh dengan Persamaan (17) dan (18):

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}} \quad (17)$$

$$R_2, R_3 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad (18)$$

Dimana :

$U_t$  : Kehilangan panas bagian atas

$R_1$  : Tahanan / resistance kaca terhadap lingkungan

$R_2, R_3$  : Tahanan antara kaca / cover

$h_w$  : Koefisien perpindahan panas konveksi

$h_{r,c2-a}$  : Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca / cover kedua dengan lingkungan

$h_{r,p-c}$  : Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat dan kaca / cover

$h_{r,p-c}$  : Koefisien perpindahan panas radiasi antara pelat dan kaca / cover

Untuk kolektor yang menggunakan satu kaca penutup / cover dapat dijabarkan pada Persamaan (19).

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad (19)$$

Kehilangan panas pada bagian bawah terjadi secara konduksi dari pelat *absorber* ke panel bagian bawah, dan untuk kerugian panas konveksi dan radiasi diabaikan sebab nilainya lebih kecil dibandingkan kerugian panas konduksi. Nilai koefisien kehilangan panas bagian bawah dapat diperoleh dengan Persamaan (20):

$$U_b = \frac{K}{L} \quad (20)$$

dimana:

$K$  = konduktivitas termal insulator bagian bawah

$L$  = tebal insulator.

Kehilangan panas dari bagian tepi/samping kolektor dapat diperkirakan dengan asumsi satu dimensi aliran panas ke samping di sekeliling sistem kolektor. Kehilangan panas melalui bagian samping harus merujuk terhadap luas kolektor  $A_c$ . sehingga kehilangan panas melalui bagian tepi dapat diperoleh dengan persamaan (21).

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad (21)$$

Dimana:

$(UA)_{edge}$  : Luas Koefisien panas hilang dari samping  
k/L x keliling kolektor x ketebalan kolektor.

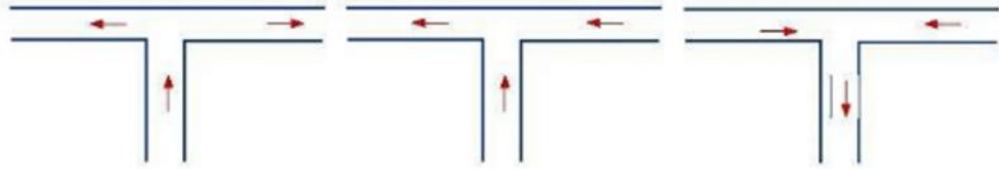
$A_c$  : Luas permukaan kolektor ( $m^2$ )

## 2.6 Pengaruh T Join Terhadap Pressure Drop

Apabila fluida mengalir melalui suatu percabangan maka akan terjadi separasi yang mengakibatkan terjadinya kerugian tekanan. Menurut Dwiyantoro (2004), Adanya percabangan pada aliran fluida *incompressible* menyebabkan terganggunya aliran akibat separasi yang menyebabkan kerugian dari tekanan total. Aliran yang terjadi pada percabangan pipa mengakibatkan aliran menjadi turbulen dan separasi, sehingga koefisien gesek menjadi tinggi dan menyebabkan penurunan tekanan yang akan berpengaruh pada energi yang dibutuhkan oleh pompa.

Sambungan T merupakan komponen yang sangat umum di jaringan pipa, terutama digunakan untuk mendistribusikan aliran menyimpang dari pipa utama ke beberapa cabang pipa. Perilaku aliran dipersimpangan tergantung pada aliran

masuk dan keluar. Gambar 2.16 menunjukkan beberapa kemungkinan yang masuk cairan dan meninggalkan persimpangan (Paritosh R. Vasava, 2007).



Gambar 2.16. Berbagai kemungkinan aliran masuk dan keluar sambungan/ simpangan T (Paritosh R. Vasava,2007)

*Pressure Drop* yang disebabkan oleh *T-junction* tergantung pada jari-jari dalam cabang, kecepatan aliran masuk atau keluar dari persimpangan dan sudut persimpangan serta pengaruh arah aliran terhadap gravitasi.

Kerugian head total dalam satu pipa diberikan oleh Persamaan (22) dan (23):

$$h_L = h_f + h_m \quad (22)$$

$$f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K_L \frac{V^2}{2g} \quad (23)$$

Dimana :

$h_L$  = Total Head Losses

$h_f$  = Mayor Head Losses

$h_m$  = Minor Head Losses

$f$  = Friction coefisient

$P$  = Panjang Pipa

$D$  = Diameter Pipa

$V$  = Kecepatan Aliran

$g$  = Gravitasi

$K_L$  = Minor coefisient Losses

Sehingga, total *head loss* dalam beberapa pipa yang terhubung adalah jumlah aljabar semua head loss. Dalam jaringan pipa k, jika i adalah jumlah pipa, total *head loss* dapat dinyatakan Persamaan (24):

$$H_l = \sum_k^i \left( f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + K_{L_i} \frac{V_i^2}{2g} \right) \quad (24)$$

Koefisien gesek (f) untuk aliran laminar dihitung dengan :  $f = \frac{64}{Re}$

Bilangan Reynolds di dalam sebuah saluran dapat dihitung melalui Persamaan (25):

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (25)$$

Sedang untuk koefisien gesek aliran turbulen diperoleh dengan diagram Moody, adapun batasan bilangan Reynolds untuk aliran menurut (Olson, 1993) adalah  $Re < 2000$ , aliran laminar dan  $Re > 2300$ , aliran turbulen,  $Re = 2000 - 2300$ , aliran transisi. Untuk sebuah sistem perpipaan, disamping kerugian major yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang disebut kerugian minor yang disebabkan oleh (White, 1994):

- a. Lubang masuk atau lubang keluar pipa.
- b. Pemuaian atau penyusutan tiba-tiba.
- c. Belokan, siku, sambungan T dan suaian lain.
- d. Katup, yang terbuka atau sebagian tertutup.
- e. Pemuaian atau penyusutan berangsur

Koefisien kerugian bagi berbagai komponen pipa tersedia dalam beberapa buku teks, Buku manual dan supplier. Tabel 2.4 dibawah ini berisi koefisien kerugian minor ( $K_l$ ) untuk beberapa komponen umum dalam jaringan pipa.

Tabel 2.4. Koefisien kerugian minor ( $K_L$ ) untuk beberapa komponen umum dalam jaringan pipa (Hozef Arif, 1999).

<i>Type of Component or Fitting</i>	<i>Minor Loss Coefficient (<math>h_L</math>)</i>
Flanged Tees, Line Flow	0.2
Threaded Tees, Line Flow	0.9
Flanged Tees, Branched Flow	1.0
Threaded Tees, Branch Flow	2.0
Flanged Regular 90° Elbows	0.3
Threaded Regular 90° Elbows	1.5
Threaded Regular 90° Elbows	0.4
Flanged Long Radius 90° Elbows	0.2
Threaded Long Radius 90° Elbows	0.7
Flanged Long Radius 90° Elbows	0.2
Flanged 180° Return Bends	0.2
Threaded 180° Return Bends	1.5
Fully Open Globe Valve	10
Fully Open Angle Valve	2

## 2.7 Pengujian Efisiensi pada kondisi *steady state*

Pada prakteknya sulit untuk mendapatkan radiasi surya yang seragam pada saat pengujian dilakukan di luar dengan radiasi langsung dari matahari, dikarenakan iklim cuaca yang dapat berubah-ubah setiap saat. Untuk pengujian efisiensi dari rancangan kolektor surya ini menggunakan *solar simulator*, pengujian dilakukan pada kondisi *steady state*.

Prosedur pengukuran pada kondisi *steady state* dilakukan berdasarkan EN 12975 Bab. 6 bagian 6.1.5. Berdasarkan standar tersebut untuk pengujian indoor menggunakan *solar simulator*, kolektor surya diuji menggunakan media simulator lampu. Lampu simulator harus dapat menghasilkan penyinaran sampai kecelah / lobang kolektor paling sedikit  $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Nilai diantara  $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  sampai dengan  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  juga dapat digunakan untuk pengujian khusus. Berikut tabel selisih parameter diukur yang diizinkan saat pengujian.

Tabel 2.5. Selisih parameter diukur yang diizinkan saat pengujian (Eropean Standard EN 12975-2, 2006).

Parameter	Selisih yang diizinkan dari nilai tengah
Sinar surya diuji ( <i>global</i> )	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Temperatur udara sekitar ( <i>indoor</i> )	$\pm 1 \text{ K}$
Temperatur udara sekitar ( <i>outdoor</i> )	$\pm 1,5 \text{ K}$
Laju aliran massa fluida	$\pm 1 \%$
Temperatur fluida pada saat masuk kolektor	$\pm 0,1 \text{ K}$

Sudut kemiringan insiden simulator harus diatur minimal 80% dari radiasi surya yang diuji, di mana variasi sudut kolektor minimal  $\pm 2\%$  dari nilai pada kondisi normal. Untuk kolektor pelat datar, kondisi ini biasanya akan sesuai saat kemiringan 80% dari simulasi radiasi surya yang diterima pada setiap titik kolektor yang diuji.

Kolektor harus dipasang tidak kurang dari 0,5 m di atas permukaan lantai. Aliran udara panas, seperti yang melewati dinding bangunan, tidak diizinkan untuk melewati kolektor. Dan jika kolektor diuji di atap sebuah gedung, harus terletak minimal 2 m dari tepi atap. Salah satu pengujian jika memungkinkan temperatur masuk ditetapkan pada kondisi  $\pm 3 \text{ K}$  dari temperatur sekitar. Jika air sebagai fluida perpindahan panas, suhu maksimum harus paling sedikit sekitar  $80^\circ \text{ C}$ .

Kondisi lampu simulator pada umumnya akan menghasilkan nilai radiasi yang berbeda pada waktu tertentu, variasi waktu biasanya diebabkan oleh supply listrik yang fluktuasi, oleh karena itu pengujian hendaknya dilakukan setelah lampu beroperasi dalam kondisi stabil, umumnya lampu akan beroperasi dalam kondisi

stabil setelah menyala lebih dari 30 menit. Pyranometer dapat digunakan untuk mengukur radiasi dari solar simulator.

## **2.8 Prosedur Pengujian *time constant***

Pengujian dengan waktu konstan dilakukan untuk menentukan data pada periode waktu tertentu. Perpindahan panas pada fluida yang disirkulasikan pada kolektor harus sama dengan laju aliran yang digunakan saat pengujian efisiensi termal, dan temperatur perpindahan panas fluida masuk ditetapkan kurang lebih sama dengan suhu udara sekitar. Ketika kondisi *steady state* telah tercapai, penutup/ *cover* dilepas dan pengukuran berlanjut sampai kondisi kembali *steady state* lagi. Tujuan pengujian ini, kondisi *steady state* diasumsikan tetap ada ketika suhu keluar fluida bervariasi kurang dari 0,05 K per menit.

Waktu  $T_c$  konstan kolektor didefinisikan sebagai waktu yang telah dilalui antara penutup / *cover* dilepas dan titik di mana suhu keluar kolektor naik ke 63,2% dari total peningkatan.

## **2.9 Multiple Linier Regression**

Analisis regresi linier berganda (*Multiple Linier Regression*) sebenarnya sama dengan analisis regresi linear sederhana, hanya variabel bebasnya lebih dari satu buah atau dapat didefinisikan sebagai hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel independen ( $x_1, x_2, \dots, x_p$ ) dengan variabel dependen ( $Y$ ). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah masing-masing variabel independen berhubungan positif atau negatif dan untuk memprediksi nilai dari variabel dependen apabila nilai variabel



independen mengalami kenaikan atau penurunan. Data yang digunakan biasanya berskala interval atau rasio.

Persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_p x_p \quad (26)$$

Dimana :

$Y$  = variabel terikat/ *depend variable*

$\beta_0$  = Taksiran bagi parameter konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_p$  = Taksiran bagi parameter koefisien regresi

$X_1, X_2, X_p$  = variabel bebas/ *independen variable*

### Uji –T

Uji-t (t-test) merupakan uji statistik yang sering kali ditemui dalam masalah-masalah praktis statistika. Uji-t adalah salah satu uji yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan (meyakinkan) dari dua buah *mean* sampel (dua buah variabel yang dikomparasikan). (Hartono, 2008).

Uji-t dapat dibagi menjadi 2, yaitu uji-t yang digunakan untuk pengujian hipotesis 1-sampel dan uji-t yang digunakan untuk pengujian hipotesis 2-sampel. Bila dihubungkan dengan kebebasan (independency) sampel yang digunakan (khusus bagi uji-t dengan 2-sampel), maka uji-t dibagi lagi menjadi 2, yaitu uji-t untuk sampel bebas (independent) dan uji-t untuk sampel berpasangan (paired).

Dalam lingkup uji-t untuk pengujian hipotesis 2-sampel bebas, maka ada 1 hal yang perlu mendapat perhatian, yaitu apakah ragam populasi diasumsikan homogen (sama) atau tidak. Bila ragam populasi diasumsikan sama, maka uji-t yang digunakan adalah uji-t dengan asumsi ragam homogen, sedangkan bila

ragam populasi dari 2-sampel tersebut tidak diasumsikan homogen, maka yang lebih tepat adalah menggunakan uji-t dengan asumsi ragam tidak homogen. Uji-t dengan ragam homogen dan tidak homogen memiliki rumus hitung yang berbeda. Oleh karena itulah, apabila uji-t hendak digunakan untuk melakukan pengujian hipotesis terhadap 2-sampel, maka harus dilakukan pengujian mengenai asumsi kehomogenan ragam populasi terlebih dahulu dengan menggunakan uji-F

Uji-t berpasangan (*paired t-test*) adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan). Uji-t ini membandingkan satu kumpulan pengukuran yang kedua dari contoh yang sama. Uji ini sering digunakan untuk membandingkan skor “sebelum” dan “sesudah” percobaan untuk menentukan apakah perubahan nyata telah terjadi. Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah satu individu (objek penelitian) dikenai 2 buah perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama(sebelum) dan data dari perlakuan kedua (sesudah). Perlakuan pertama mungkin saja berupa kontrol, yaitu tidak memberikan perlakuan sama sekali terhadap objek penelitian.

Dalam melakukan pemilihan uji, seorang peneliti harus memperhatikan beberapa aspek yang menjadi syarat sebuah uji itu digunakan. Peneliti tidak boleh sembarangan dalam memilih uji, sehingga sesuai dengan tujuan penelitian yang diinginkan. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk menggunakan Uji-t Berpasangan. Dalam hal ini untuk Uji Komparasi antar dua nilai pengamatan

berpasangan, (*paired*) misalnya sebelum dan sesudah (Pretest & posttest) di gunakan pada :

1. Satu sampel (setiap elemen ada 2 pengamatan).
2. Data Kuantitatif (interval – rasio).
3. Berasal dari populasi yang terdistribusi normal di populasi terdapat distribusi deference = d yang berdistribusi normal dengan mean  $\mu_d = 0$  dan variance  $\sigma_d^2 = 1$ ). (Purnomo, 2006).

Persamaan regresi sebaiknya dilakukan di akhir analisis karena interpretasi terhadap persamaan regresi akan lebih akurat jika telah diketahui signifikansinya.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Metode pengujian kolektor surya pelat datar aliran paralel dilakukan untuk memperoleh nilai unjuk kerja dari kolektor berdasarkan standar EN 12975-2:006. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, perancangan dan pembuatan, pengujian, dan analisa hasil pengujian kolektor sehingga diperoleh suatu kesimpulan.

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini akan dilakukan dari bulan Juni sampai dengan bulan Desember 2016 bertempat di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Termokopel,

Untuk mengetahui temperatur fluida masuk, fluida keluar kolektor dan temperatur lingkungan, digunakan termokopel sebagai alat ukur. Temperatur fluida masuk diukur setelah air keluar dari pompa atau sebelum masuk kolektor, sedangkan fluida keluar diukur setelah keluar kolektor.

Termokopel ini dihubungkan ke Multi channel thermometer data Logger sehingga sinyal analog dari termokopel diubah menjadi sinyal digital, sehingga temperatur yang diukur dapat dibaca. Termokopel yang digunakan merupakan termokopel tipe K karena lebih murah dan tersedia untuk rentang suhu  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



a



b

Gambar 3.1. Alat ukur temperature (a) termocouple (b) multi channel thermometer data logger.

## 2. Solari Meter,

Radiasi sinar solar simulator diukur dengan menggunakan Solari meter. Solari meter ini diletakkan dibagian atas kolektor surya dengan tujuan agar intensitas radiasi solar simulator yang diterima oleh Sensor solari meter sama dengan intensitas radiasi solar simulator yang diterima oleh kolektor. Solari meter yang bermerek Lutron dengan model SPM 1116SD yang mempunyai kapasitas ukur  $2000\text{ watt/m}^2$ .



Gambar 3.2. Solari meter.

### 3. Pompa sirkulasi,

Pompa sirkulasi (Gambar 3.3) berfungsi mendistribusi fluida ke sepanjang pipa pemanas; laju aliran air keluar pompa diatur menggunakan regulator voltase dan kran. Pompa ini merupakan jenis pompa aquarium dengan daya listrik 25 watt dan daya dorong 1,8 meter.



Gambar 3.3. Pompa sirkulasi.

Air yang dipompakan masuk ke kolektor terlebih dahulu diatur suhunya menggunakan heater dimana heater tersebut bekerja sesuai dengan yang diseting di termostat.

#### 4. Solar Simulator,

Solar simulator (Gambar 3.4) merupakan suatu perangkat yang menyediakan pencahayaan mendekati sinar matahari alami. Tujuan penggunaan dari solar simulator adalah sebagai sumber radiasi pengganti matahari sehingga pengujian suatu perangkat dapat dikerjakan diruangan kontrol atau laboratorium.



Gambar 3.4. Solar simulator.

5. *U tube differensial pressure Gauge*, berfungsi sebagai alat ukur beda tekanan fluida masuk dan keluar (Gambar 3.5), kemudian dihitung dengan persamaan (27).

$$P_A - P_B = (\rho_{Hg} - \rho_w)g \cdot h \quad (27)$$

Dimana:

$P_A$  = tekanan pada sisi A (Pa).

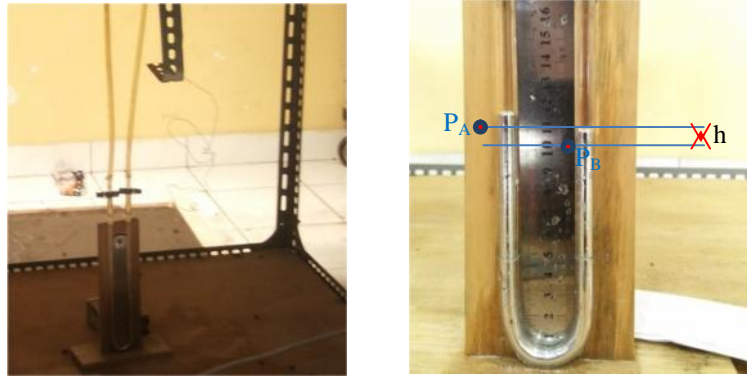
$P_B$  = tekanan pada sisi B (Pa).

$\rho_{Hg}$  = berat jenis air raksa ( $\text{g/cm}^3$ ).

$\rho_w$  = berat jenis air ( $\text{g/cm}^3$ ).

$g$  = gravitasi (m/s).

$h$  = perbedaan tinggi air pada sisi A dan B (cm).



Gambar 3.5. *U tube differensial pressure Gauge*

6. *Gelas Ukur dan stopwatch*, berfungsi untuk mengukur laju aliran, diukur sebelum pengujian, ditengah pengujian, setelah pengujian dan kondisi tertentu jika diamati ada perubahan laju aliran.
7. *Seperangkat Pemanas*, sebagai pemanas dan pengkondisian suhu fluida awal. Perangkat ini terdiri dari *heater*, bak suplai fluida, bak pemanas dan *control heater* (Gambar 3.6).





Keterangan Gambar :

1. *Heater*
2. Bak Suplai Air
3. Bak Pemanas
4. *Control heater*

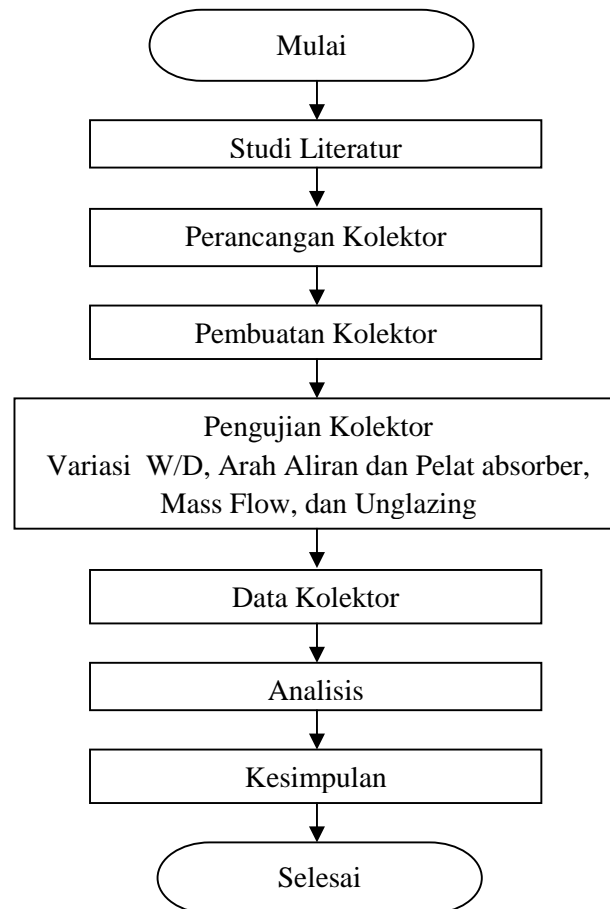
Gambar 3.6. Perangkat Pemanas.

Bahan- bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Triplek 5 mm, sebagai *casing* luar.
2. Kaca Bening, berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan dan mentransmisikan energi surya ke pelat penyerap.
3. *Glasswool* untuk meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan.
4. Pelat Penyerap dari bahan pelat tembaga dan alumunium untuk menyerap panas dari radiasi cahaya matahari;
5. Pipa Pemanas 3/8" sebagai alat perpindahan panas dari radiasi matahari ke fluida.

### 3.3 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu pembuatan, pengujian dan analisis kolektor. Langkah kerja lebih rinci dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Langkah kerja penelitian.

#### 3.3.1 Tahap Pembuatan Kolektor

Kolektor dibuat sebanyak empat unit, dua unit berdasarkan jarak antar pipa *riser* (W/D 12 dan W/D 8) dengan susunan pipa *riser* vertikal berpelat tembaga, satu unit kolektor berpelat aluminium dengan spesifikasi sama dengan kolektor W/D 8

vertikal dan satu unit kolektor W/D 8 susunan pipa *riser* horizontal. Adapun tahap pembuatan kolektor dimulai dengan:

a. Pembuatan *Casing* Luar

*Casing* luar terbuat dari triplek 5 mm dengan luas 970 mm x 570 mm, dan tinggi 108 mm.

b. Pembuatan *Glazing*

*Glazing* terbuat dari kaca dengan tebal 3 mm dengan luas 960 mm x 560 mm.

c. Pembuatan Isolasi

Isolasi terbuat dari *glasswool* dengan ukuran tebal 65 mm dan tinggi 100 mm.

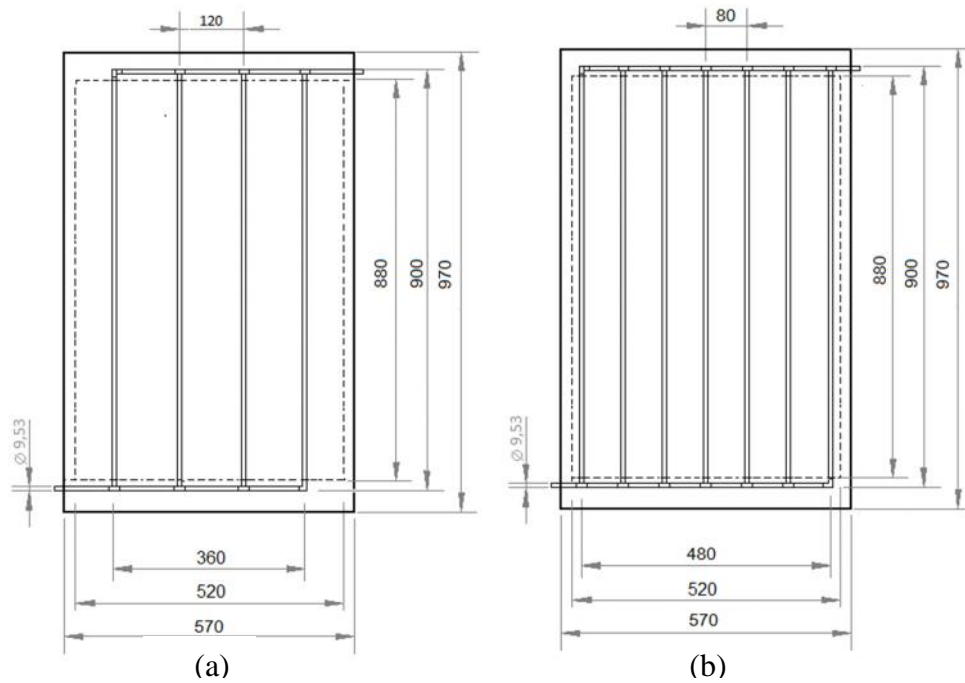
d. Pembuatan Pelat Penyerap

Pelat Penyerap untuk kolektor W/D 8, W/D 12 dan susunan horizontal menggunakan pelat tembaga dengan tebal 0,5 mm dan satu buah kolektor pelat alumunium dengan tebal 0,5 mm dengan luas semua kolektor sama yakni 880 mm x 520 mm. Pelat penyerap dibuat alur dengan cara diketok menggunakan cetakan dari papan yang telah dibuat alur dengan kedalaman 10 mm.

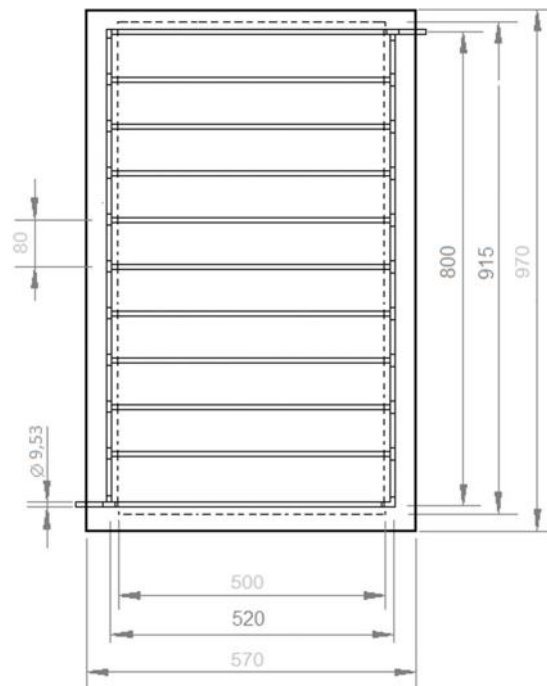
e. Pembuatan Pipa Pemanas (*riser*)

Pada penelitian ini pembuatan pipa pemanas divariasikan kedalam dua arah aliran fluida, yang pertama arah aliran vertikal dan kedua arah aliran horizontal. Pada arah aliran vertikal dibuat sebanyak dua jenis berdasarkan jarak antara pipa pemanas masing-masing dengan jarak 120 mm (W/D 12 vertikal) dengan 4 pipa pemanas dan jarak 80 mm (W/D 8 Vertikal) dengan 7 pipa pemanas. Gambar perancangan variasi pipa pemanas seperti Gambar 3.8.

Pada arah aliran horizontal, kolektor dibuat 1 (sat) jenis dengan spesifikasi jarak antar pipa paralel 80 mm (W/D 8 Horizontal) dengan jumlah pipa pemanas 11 buah (Gambar 3.9).



Gambar 3.8. Arah Aliran Vertikal dengan Variasi Jarak Antar Pipa Paralel (a) 120 mm (b) 80 mm.



Gambar 3.9. Arah Aliran Horizontal dengan Jarak Antar Pipa Paralel 80 mm.

Untuk kolektor dengan pelat alumunium, pipa pemanas / *riser* yang digunakan sama dengan kolektor W/D 8 vertikal.

### 3.3.2 Tahap Pengujian

#### A. Tahap Pengujian Standar EN 12975-2:2006

1. Pengaturan laju aliran massa sesuai standar yakni  $\dot{m} = 0,009167 \text{ kg/s}$  atau 550 mL/menit diukur menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*.
2. Penyetelan suhu air masuk kolektor yang akan diuji pada 4 temperatur fluida inlet ( $T_{fi}$ ) berbeda, masing-masing (30, 40, 50 dan 60°C) menggunakan heater dengan thermostat. Data-data temperatur diukur menggunakan *Multi chanel thermometer data logger* yang terhubung dengan 3 buah termokopel yang diseting terekam setiap sepuluh detik. Data diambil setelah temperatur outlet sudah stabil atau temperature outlet tidak mengalami kenaikan lagi dan data diambil selama lebih kurang 4 x time konstan. Tiga termokopel itu dipasang untuk mengukur :
  1. Temperatur fluida inlet ( $T_{fi}$ ).
  2. Temperatur fluida outlet ( $T_{fo}$ ) .
  3. Temperatur Ambien ( $T_a$ ).
3. Pengukuran intensitas radiasi yang diukur menggunakan solarimeter pada awal, dan akhir pengujian.
4. Pengukuran *pressure drop* menggunakan *U tube differensial pressure Gauge* dengan melihat beda level ketinggian air raksa bagian kanan dan kiri.

## B. Tahap Pengujian Berdasarkan Laju Aliran Massa

Pengujian berdasarkan laju aliran massa, dibedakan menjadi dua pengujian, pengujian pada laju aliran massa 0,09167 kg/s dan laju aliran massa 0,0075 kg/s. Tahap pengujian dan pengambilan data sama seperti pengujian menurut standar EN 12975-2:2006. Diawali dengan pengaturan laju aliran massa, perekaman data, dan mengukur *pressure drop*.

## C. Tahap Pengujian Berdasarkan Penggunaan Kaca Penutup

Pengujian berdasarkan penggunaan kaca penutup, dibedakan menjadi menjadi dua pengujian, pengujian menggunakan kaca penutup dan tanpa penggunaan kaca penutup. Tahap pengujian dan pengambilan data sama seperti pengujian menurut standar EN 12975-2:2006. Diawali dengan penggunaan kaca atau tidak, pengaturan laju aliran massa sesuai standar, perekaman data, dan mengukur *pressure drop*.

### 3.3.3 Tahap Analisis

Pada penelitian ini, data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) dengan *Tool Data Analysis Regression* di Microsoft Excel. Persamaan regresi linear berganda yang digunakan merupakan Persamaan (26). Berdasarkan persamaan (9) dan (26) dapat dibuat hubungan:

$Y = Q_u$ , Merupakan variabel terikat

$\beta_0$  = Taksiran bagi parameter konstanta

$\beta_1 = F'(\tau\alpha)_e$ , Merupakan taksiran bagi parameter koefisien regresi faktor efisiensi kolektor pada nilai tranmitansi-absorbansi.

$x_1 = S$ , Merupakan variabel bebas berupa nilai radiasi dari solar simulator.

$\beta_2 = F'U_L$ , Merupakan taksiran bagi parameter koefisien regresi faktor efisiensi kolektor pada hambatan termal menyeluruh.

$x_2 = (T_m - T_a)$ , Merupakan variabel bebas berupa nilai temperatur rata-rata fluida dikurang temperatur lingkungan.

Fungsi optimasi penelitian ini adalah meminimalkan jumlah kuadrat dari perbedaan antara nilai yang diprediksi dan nilai yang terukur. Parameter yang dioptimalkan adalah  $F'$  dan  $F'U_L$ . parameter ini kemudian dianggap tetap dan digunakan untuk semua simulasi lainnya. Hasilnya akan dievaluasi pada tingkat kepercayaan 95 % dan diuji dengan t-ratio.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Telah dibuat empat buah kolektor sesuai dengan rancangan yang terdiri dari tiga buah kolektor pelat tembaga (W/D 8 vertikal, W/D 12 Vertikal dan W/D 8 horizontal) dan satu buah kolektor W/D 8 menggunakan pelat aluminium.

Berdasarkan hasil pengujian unjuk kerja solar kolektor pelat datar tipe paralel dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jarak pipa riser (*tube spacing*) kolektor W/D 8 memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas dan efisiensi tetapi *pressure drop* lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor W/D 12.
2. Berdasarkan pelat *absorber*, kolektor pelat tembaga memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas dan efisiensi (naik  $\frac{1}{4}$  kali lipat) tetapi dari segi harga pelat *absorber* lebih mahal 14 kali lipat.
3. Berdasarkan arah pipa riser, kolektor susunan vertical memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas dan efisiensi tetapi *pressure drop* lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor susunan horizontal.
4. Berdasarkan kaca penutup, kolektor pakai kaca penutup memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas dan efisiensi dibandingkan tanpa kaca



penutup namun perbedaannya tidak terlalu tinggi karena pengujian dilakukan di dalam ruangan (*indoor*).

5. Berdasarkan laju aliran massa, kolektor dengan laju aliran yang lebih rendah (0,0075 kg/s) memiliki memiliki unjuk kerja terbaik dari sisi koefisien kerugian panas, efisiensi dan *pressure drop* dibandingkan dengan laju aliran 0,009167 kg/s.
6. Nilai *Pressure drop* kesemua kolektor sangat kecil. Hasil yang diperoleh melalui pengujian lebih kurang 2 kali lipat *pressure drop* hasil simulasi dengan program *solid work*.

## **5.2. Saran**

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka untuk pengembangan penelitian selanjutnya disarankan melakukan penelitian lebih lanjut terhadap unjuk kerja termal kolektor berupa perbandingan hasil pengujian dan hasil simulasi melalui program komputasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agbo, S. N. dan Okeke, C. E. 2007. Correlations Between Collector Performance and Tube Spacing for Various Absorber Plate Material in Natural Circulation Solar Water Heater. *Trends in Applied Sciences Research*. 2: 251-254.
- Alvaro, E. M. 2009. Analysis of The Efficiency of Solar Collectors in The Domestic Warm Water Net in The Context of The Reduction Of CO<sub>2</sub> Emission. *Master Tesis*. Universidad Carlos III de Madrid. Spain.
- Amrizal, N., Chemisana, D., Rosell, J. I., dan Barrau, J. A. 2012. A Dynamic Model Based on The Piston Flow Concept for The Thermal Characterization of Solar Collectors. *Applied Energy*. 94: 244-250.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Rencana Strategis KESDM 2015-2019*. Jakarta.
- Bolaji, B. O. 2006. Flow Design and Collector Performance of a Natural Circulation Solar Water Heater. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 1: 7-13.
- Cengel, Y. A. 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach*. 2<sup>nd</sup>Ed. McGraw-Hill, New York.
- Chiou, J.P. 1982. The effect of non uniform fluid flow distribution on the thermal performance of solar collector. *Sol. Energy*. 29: 487-502.
- Davide, Andrea P., Bortolato M., Marco, dan Zambolin E. 2013. Thermal Performance of Flat Plate Solar Collectors With Sheet and Tube and Roll Bond Absorbers. *Energy*. 58: 258-269.
- Duffie, J. A. dan Beckman, W. A. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4<sup>th</sup>Ed. John Wiley & Son, New York.
- Dwiyantoro, A. 2004. Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Protituding (Tonjolan) pada Pipa Lurus Bercabang 45<sup>0</sup> dan 60<sup>0</sup> terhadap Distribusi Kecepatan dan Tekanan Aliran. ITS. Surabaya.

- Eisenmann, W., Vajen, K., dan Ackermann, H. 2003. On the Correlations Between Collector Efficiency Factor and Material Content of Parallel flow flat Plate Solar Collectors. *Solar Energy*. 76: 381–387.
- Eropean Standard EN 12975-2. 2006. *Thermal solar systems and components solar collector part 2: test methods*. CEN, Brussels.
- Gallardo, G., Castro, Santos, dan Tawfik M. 2013. Efficiency Factors of Solar Collectors of Parallel Plates for Water. *Solar Energy*. 94: 335–343.
- Australian Department of Industry. 2009. *Australian Energy Resource Assessment*. 2<sup>nd</sup> Ed. Geoscience Australia, Australia.
- Ghamari, D. M., dan Worth R. A. 1992. The effect of tube spacing on the cost effectiveness of a flat plate solar collector. *Renewable Energy*. 2: 603–606.
- Goswami, D.Y. 2015. *Principles of Solar Engineering*. 3<sup>Rd</sup> Ed. Taylor & Francis Group, LLC.
- Hartono. 2008. *Analisis Data Statistika dan Penelitian*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Usman, H. dan Purnomo, R. 2006. *Pengantar Statistika*. Bumi Aksara, Jakarta.
- Holman, J. P. 2010. *Heat Transfer*. 7<sup>th</sup> Ed. McGraw-Hill, New York.
- Hozef A. 1999. Application of Computational Fluid Dynamics to the modeling of horizontal wells. *Student Report*. Stanford University. California.
- International Energy Agency. 2012. *Technology Roadmap Solar Heating and Cooling*. OECD/IEA, Paris.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., dan Lavine, A. S. 2007. *Fundamentals of Heat and mass transfer*. 6<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Son, New York.
- Allan, J., Zahir, D., Stankovic, S., and Mauricette, L. 2015. Performance Testing of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors, *Energy Science & Engineering*. 3: 310–326.
- Kalogirou, S. 2004. Solar Energy Engineering. *Science*. 30: 231–295.
- Kicsiny, R. 2014. Multiple Linear Regression Based Model For Solar Collectors. *Solar Energy*. 110: 496–506.
- Lenel, U. R. and Mudd, P. R. 1982. A Review of Materials for Solar Heating Systems for Domestic Hot Water. *Solar Energy*. 32: 109-120.

- Matrawi, K. K. and Farkas, I. 1995. Comparison Study for Three Types of Solar. *Energy Convers.* 38: 861-869.
- Mcqueen, H. J. 1980. Selection of Materials for Flat Plate Solar Collectors. *J. Materials for Energy Systems*. Volume 2, June 1980—81.
- Nahar, N. M. 2001. Capital Cost and Economic Viability of Thermosyphonic Solar Water Heaters Manufactured from Alternate Materials in India. *Renewable Energy*. 26: 623–635.
- Paritosh, R. V. 2007. Fluid Flow in T-Junction of Pipes. *Master Tesis*. Lappeenranta University Of Technology. Finlandia.
- Reynolds, W. C. dan Perkins, H. C. 1983. *Engineering Thermodynamics*. McGraw Hill, New York.
- Rojas, D., Beermann, J., Klein, S. A., dan Reindl, D. T. 2007. Thermal Performance Testing of Flat Plate Collectors. *Solar Energy*. 82: 746–757.
- Sivakumar, W., Christraj, Sridharan, M., dan Jayamalathi, N. 2012. Performance Improvement Study of Solar Water Heating System. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 7, No. 1.
- Sumarsono, M. 2005. Optimasi Jumlah Pipa-Pemanas Terhadap Kinerja Kolektor Surya Pemanas Air. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*. Vol. 1, No.1.
- Wang, X. A. dan Wu, L. G. 1990. Analysis And Performance of Flat-Plat Solar Collector Arrays. *International Journal of Solar Energy*. 45: 71-78.
- White, F. M. 1994. *Fluid Mechanics*. 3<sup>rd</sup> Ed. McGraw-Hill, Neww York.
- Ziqian, C., Furbo, S., Perers, Jianhua, dan Andersen, E. 2012. Efficiencies of Flat Plate Solar Collectors at Different Flow Rates. *Energy Procedia*. 30: 65–72.