

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN *POROUS ALUMINIUM FOAM*  
PADA BAGIAN BAWAH PELAT ABSORBER TERHADAP  
EFISIENSI KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR**

Oleh :

**MUH. FARID SULAIMAN**

**D211 16 013**



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN *POROUS ALUMINIUM FOAM* PADA  
BAGIAN BAWAH PELAT ABSORBER TERHADAP EFISIENSI  
KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR**

**Oleh :**

**MUH. FARID SULAIMAN**

**D211 16 013**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN *POROUS ALUMINIUM FOAM* PADA BAGIAN BAWAH  
PELAT ABSORBER TERHADAP EFISIENSI KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUH. FARID SULAIMAN**

**D211 16 013**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 30 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr.Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT

NIP. 19770707 200501 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.

NIP. 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUH. FARID SULAIMAN

NIM : D211 16 013

Program Studi : TEKNIK MESIN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENGARUH PENAMBAHAN *POROUS ALUMINIUM FOAM* PADA  
BAGIAN BAWAH PELAT ABSORBER TERHADAP EFISIENSI  
KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Maret 2021



MUH. FARID SULAIMAN

**PENGARUH PENAMBAHAN *POROUS ALUMINIUM FOAM* PADA  
BAGIAN BAWAH PELAT ABSORBER TERHADAP EFISIENSI  
KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR**

Nama : MUH. FARID SULAIMAN  
Nim : D211 16 013  
Pembimbing I : Dr-Eng. Jalaluddin, ST, MT  
Pembimbing II : Dr. Muhammad Syahid, ST,MT

**ABSTRAK**

Penelitian mengenai surya pemanas air untuk meningkatkan efisiensi telah banyak dilakukan salah satunya yaitu modifikasi pelat absorber. Untuk meningkatkan efisiensi termal pada pelat absorber maka perlu dilakukan pemilihan material tembaga dan coating hitam pada permukaannya kemudian ditambahkan *Aluminium Foam* pada bagian bawahnya. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan coating hitam untuk meningkatkan proses penyerapan kalor serta *Aluminium foam* dapat berfungsi sebagai *TES (Thermal Energy Storage)*. Setelah ditambahkan *Aluminium Foam* kemudian pengambilan data dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan Alat Gunt ET-202, untuk mengetahui efisiensi dari surya pemanas air tersebut dan akan dibandingkan dengan panel standar dengan beberapa variasi laju aliran dan sudut kemiringan yang sama setiap panelnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan efisiensi terjadi secara signifikan pada panel dengan penambahan *Aluminium Foam* pada bagian bawah pelat *absorber* untuk sudut kemiringan  $0^\circ$  yaitu 5,15% , untuk sudut  $10^\circ$  yaitu 3,97%, untuk sudut  $30^\circ$  yaitu 5,39% dan untuk sudut  $40^\circ$  yaitu 5,02% dimana dari hasil tersebut didapatkan sudut  $40^\circ$  memiliki efisiensi terbesar dari sudut yang lain yaitu 88,99% . Selain itu terjadi pengaruh laju aliran terhadap efisiensi termal kolektor dimana laju aliran 8 liter/jam memiliki pengaruh efisiensi terbesar dibandingkan dengan laju aliran 10 dan 12 liter/jam yaitu 83,97% untuk panel kolektor pelat datar dan 88,99% untuk panel foam bawah.

Kata Kunci : Kolektor Surya, Efisiensi, *Aluminium Foam*, *Thermal Energy Storage*.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya agar saya selaku penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dan salawat serta salam kita sampaikan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat islam ke kehidupan yang lebih beradab.

Saya menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Oleh karena ini dengan penuh rasa hormat dan tulus saya selaku penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr-Eng. Jalaluddin , ST, MT selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga bagi saya, yang tidak bisa ternilai harganya dengan apapun, meluangkan waktu dan tenaganya dan juga memberikan motivasi dan ide-ide kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tak lupa secara khusus penulis haturkan ucapan terima kasih kepada Ayahanda sekaligus motivasi hidup saya Sulaiman yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga kepada saya dan Ibunda Rohani Kansi yang telah merawat saya tanpa lelah dari kecil hingga saat ini, dan memberikan semangat serta dukungan yang tidak ada habisnya kepada saya, dan juga kepada adik saya Muh. Farhan Sulaiman dan Achmad Fauzan Sulaiman yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada saya, serta keluarga besar yang namanya tidak bisa disebutkan satu-persatu yang selalu ada memberikan dukungan kepada saya.

Pada kesempatan ini pula perkenalkan penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini, ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dwia Aris Tina Pulubuhu, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta stafnya.
2. Bapak Dr-Eng. Jalaluddin, ST,MT selaku Ketua Departemen Mesin FT-UH
3. Bapak Dr-Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST.MT selaku penasehat akademik yang telah membimbing dan membantu penulis selama menjalani studi.
4. Seluruh dosen penguji, bapak Dr-Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST,M.Sc, dan bapak Dr. Rustan Tarakka, ST,MT yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.
5. Seluruh staf administrasi Departemen Mesin (Pak Mansyur, Pak Irwan, Kak Suri serta yang lain) yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.
6. Bapak drg. Muhammad Amin Kansi, MS, Ph.D selaku paman sekaligus salah satu orang panutan bagi saya yang memberikan nasihat, motivasi dan pengalaman hidup dalam lingkup akademik maupun di lingkup kehidupan.
7. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Mesin khususnya Angkatan 16 COMPREZZOR. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
8. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan,(Bapak Muhammad Hasan Basri, ST.MT dan Muh. Matsnan Arifuddin )
9. Teman-teman dan keluarga besar UKM KPI Unhas
10. Semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala ataupun rejeki.penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima keritikan dan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini kedepanya, agar berguna bagi pembaca nantinya

Makassar, 5 Maret 2021



Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
NOMENKLATUR .....	xii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pemanas Air Tenaga Surya.....	5
2.2 Sistem Surya Pemanas Air.....	6
2.3 Kolektor Surya.....	7
2.4 Kolektor Pelat Datar .....	8
2.5 Kolektor Bentuk Parabola.....	9
2.6 Kolektor Bentuk Tabung .....	10
2.7 Pelat Absorber.....	11
2.8 Metal Foam .....	11
2.9 Perpindahan Kalor .....	12
2.10 Formulasi Kesetimbangan Energi pada solar termal kolektor .....	15



BAB III.....	20
METODE PENELITIAN .....	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Peralatan dan Bahan yang digunakan .....	20
3.3 Prosedur penggunaan alat Laboratorium Gunt ET-202.....	22
3.4 Metodologi Penelitian.....	24
3.5 Variabel Penelitian.....	24
3.6 Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran.....	25
3.7 Tahapan Pengambilan data .....	26
3.8 Flowchart Penelitian .....	28
BAB IV.....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1 Analisa data dan perhitungan.....	29
4.2 Pembahasan .....	44
BAB V .....	59
PENUTUP .....	59
A. Kesimpulan .....	60
B. Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Kolektor Surya Pemanas air .....	5
Gambar 2.2 : Klasifikasi dari <i>Solar Collector Passive</i> .....	8
Gambar 2.3 : Kolektor pelat datar.....	9
Gambar 2.4 : Kolektor bentuk parabola.....	9
Gambar 2.5 : Kolektor bentuk tabung.....	10
Gambar 2.6 : Pelat absorber .....	11
Gambar 2.7 : <i>Metal Foam</i> .....	12
Gambar 2.8 : Konduksi pada dinding dengan tebal $\Delta x$ dan luas A.....	13
Gambar 2.9 : Konveksi paksa dan konveksi bebas .....	13
Gambar 2.10: Perpindahan kalor radiasi antara dua permukaan.....	14
Gambar 2.11: Tampak samping bagian bawah panel kolektor foam.....	18
Gambar 2.12: Jala-jala Termal .....	19
Gambar 3.1 : Alat Laboratorium ET-202 dan Sistem kerja alat ET-202 .....	20
Gambar 3.2 : Data Logger Omega T08.....	21
Gambar 3.3 : Termokopel .....	21
Gambar 3.4 : Komputer.....	21
Gambar 3.5 : Dimensi Kolektor .....	22
Gambar 3.6 : Skema Instalasi dan Titik pengukuran .....	25
Gambar 3.7 : Skema Titik Pengukuran dan Pengambilan data temperatur .....	26
Gambar 4.1 : Diagram sankey untuk panel tanpa foam.....	44
Gambar 4.2 : Diagram sankey untuk panel dengan foam pada bagian bawah .....	44
Gambar 4.3 : Grafik Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut $0^\circ$ .....	46
Gambar 4.4 : Grafik Efisiensi Kolektor VS Waktu pada sudut $0^\circ$ .....	46
Gambar 4.5 : Grafik Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut $10^\circ$ .....	48

Gambar 4.6 : Grafik Efisiensi Kolektor VS Waktu pada sudut 10° .....	48
Gambar 4.7 : Grafik Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 30° .....	50
Gambar 4.8 : Grafik Efisiensi Kolektor VS Waktu pada sudut 30° .....	50
Gambar 4.9 : Grafik Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 40° .....	53
Gambar 4.10 : Grafik Efisiensi Kolektor VS Waktu pada sudut 40° .....	53
Gambar 4.11: Efisiensi kolektor custom VS Waktu pada sudut kemiringan 0°,10°,30° dan 40° .....	54
Gambar 4.12 : Efisiensi kolektor foam bawah VS Waktu pada sudut kemiringan 0°,10°,30° dan 40° .....	55
Gambar 4.13 : Efisiensi kolektor custom VS Waktu pada laju aliran 8,10 dan 12 liter/jam .....	55
Gambar 4.12 : Efisiensi kolektor foam bawah VS Waktu pada laju aliran 8,10 dan 12 liter/jam .....	56

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 : Klasifikasi sistem surya pemanas air .....	7
Tabel 2.2 : Tabel Parameter pengukuran efisiensi solar kolektor .....	24

## NOMENKLATUR

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$R_f$	Iluminasi dari Foam bawah	$W/m^2$
$R_c$	Iluminasi dari Custom	$W/m^2$
$\dot{V}$	Laju Aliran Massa	kg/s
$V_w$	Kecepatan Angin	m/s
$\rho$	Densitas Air	$kg/m^3$
$C_p$	Kalor Spesifik Udara	$kJ/kg.K$
$A_c$	Luas Kolektor	$m^2$
$T_{pl}$	Temperatur Pelat Absorber	$^{\circ}C, K$
$T_{af}$	Temperatur Udara Luar Foam	$^{\circ}C, K$
$T_{ac}$	Temperatur Udara Luar Custom	$^{\circ}C, K$
$T_{in}$	Temperatur Air Masuk	$^{\circ}C, K$
$T_{out}$	Temperatur Air Keluar	$^{\circ}C, K$
$T_{kd}$	Temperatur Kaca dalam	$^{\circ}C, K$
$T_{kl}$	Temperatur Kaca luar	$^{\circ}C, K$
$T_{isl}$	Temperatur Isolator	$^{\circ}C, K$
$T_{fb}$	Temperatur Foam bawah	$^{\circ}C, K$
$T_{c-luar}$	Temperatur Kaca Luar	$^{\circ}C, K$
$T_{c-dalam}$	Temperatur Kaca Dalam	$^{\circ}C, K$
$\nu$	Visikositat Kinematik	$m^2/s$
$D_h$	Diameter Hidrolis	m

$\sigma$	konstanta Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8}$	$W/m^2.K^4$
$h_{cp-c}$	Koefisien Konveksi Penutup-Udara Luar	$W/m^2.K$
$h_{rc-a}$	Koefisien Radiasi Pelat-Penutup	$W/m^2.K$
$h_f$	Koefisien Konveksi Pelat ke Air	$W/m^2.K$
$R_{k1}$	Tahanan Termal dari Foam bawah ke Isolator	$W/m^2.K$
$R_{k2}$	Tahanan Termal dari Pelat ke Foam bawah	$W/m^2.K$
$R1, R2$	Tahanan Termal	$m^2K/W$
$K_f$	Konduktivitas Termal Aluminium Foam	$W.m.K$
$K_k$	Konduktivitas Termal Keramik	$W.m.K$
$L_f$	Ketebalan Aluminium Foam	m
$L_k$	Ketebalan Keramik Isolator	m
$g$	Percepatan Gravitasi	$m/s^2$
$U_t$	Koefisien perpindahan panas Atas	$W/m^2K$
$U_b$	Koefisien perpindahan panas Bawah	$W/m^2K$
$U_d$	Koefisien perpindahan panas Bawah	$W/m^2K$
$U_L$	Koefisien perpindahan panas Total	$W/m^2K$
$S$	Radiasi Per Satuan Luas	$W/m^2$
$Q_n$	Energi yang Berguna	W
$\eta$	Efisiensi	%

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pemanasan global terjadi pada saat ini telah menyebabkan adanya perubahan cuaca dan iklim. Dampak yang terasa yaitu suhu permukaan bumi yang tinggi, cuaca yang berubah, polusi tinggi, serta rentan terhadap risiko penyakit. Disisi lain, pemanasan global tersebut banyak memberikan inspirasi dalam pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari, energi air, angin, dan lain sebagainya. (C.G. Granqvist, 2007 )

Energi matahari dihasilkan dari fusi nuklir hidrogen (unsur utama matahari) menjadi helium, yang mengurangi massa matahari sebanyak  $4,7 \times 10^6$  ton setiap detiknya. Kebutuhan energi seluruh populasi di bumi sekitar 15 tera-Watt, sedangkan radiasi matahari yang mencapai bumi sekitar 120.000 tera-Watt. Idealnya, apabila pemanfaatan sebagian kecil saja dari radiasi matahari yang sampai ke bumi, akan mampu memenuhi kebutuhan energi semua populasi yang ada di bumi (Ogie dkk, 2013)

Oleh karena itu, pengembangan pada kolektor surya pemanas air telah banyak dilakukan seperti desain kolektor, material, fluida kerja, dan lain-lain. Salah satu pengembangan yang menarik para peneliti yakni pengembangan pada material absorber untuk mendapatkan bahan absorber yang lebih efektif dan efisien dalam menyerap panas. Metode penambahan penambahan material *porous* pada absorber diyakini dapat meningkatkan efek perpindahan panas pada kolektor sekaligus dapat menjadi bahan penyimpan kalor. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Chen dan Huang pada tahun 2012, yang dimana secara simulasi numerik hasil dari efek penambahan material porous pada kolektor pelat datar yang disisipkan antara absorber dan isolator memiliki efek perpindahan panas yang cukup besar dengan parameter efisiensi *material porous* mencakup rasio luas permukaan, laju aliran, konduktifitas termal dan tingkat absorptivitas. Sehingga *Material porous* pada aplikasi *solar thermal* yang dapat digunakan antara lain *Aluminium Foam*, *Block Aluminium Foam*, *Copper Foam*, *Nickel Foam* dan *foam Reticulated Virteous Carbon (RCV)*.

(Chen dan Huang, 2012). Selain itu penelitian serupa dari Saedodin dkk pada tahun 2017 yaitu Analisis simulasi penggunaan porous material yang disisipkan di bagian bawah saluran. Dari analisis tersebut diperoleh bahwa efisiensi termal dan area perpindahan termal meningkat dibandingkan tanpa foam (Saedodin dkk, 2017).

Permasalahan yang terkait dengan penggunaan foam pada absorber antara lain penempatan posisi foam aluminium yang efektif, dimensi foam termasuk ketebalannya dan bentuk konfigurasi foamnya. Terkait dengan posisi, foam umumnya diletakkan diantara pelat dan isolator. Saedodin dkk (2017) meletakkan foam copper menempel pada pelat absorber dan di posisi menempel pada isolator. Dalam penelitian tersebut tidak dijelaskan secara detail dimensi ketebalan yang digunakan dan kemiringan yang efektif.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka akan diadakan penelitian untuk melihat pengaruh *porous aluminium foam* terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air, dengan judul: **Pengaruh Penambahan *Porous Aluminium Foam* Pada Bagian Bawah Pelat Absorber Terhadap Efisiensi Kolektor Surya Pemanas Air.**

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan dengan penambahan *porous aluminium foam* pada bagian bawah pelat absorber terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air ?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran dengan penambahan *porous aluminium foam* pada bagian bawah pelat absorber terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air ?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Untuk menganalisa pengaruh sudut kemiringan dengan penambahan *porous aluminium foam* pada bagian bawah pelat absorber terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air



2. Untuk menganalisa pengaruh variasi laju aliran dengan penambahan porous aluminium foam pada bagian bawah pelat absorber terhadap efisiensi kolektor surya pemanas air

#### **1.4. Batasan Masalah**

1. Bentuk pelat absorber yang digunakan pada pengujian ini adalah pelat absorber datar.
2. Material absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,00035m.
3. Penambahan Material kolektor yang digunakan adalah Material *Porous Aluminium foam* dengan dimensi 0,3x0,3x0,02m
4. Variasi laju aliran fluida pada panel kolektor surya berbasis aluminium foam yaitu 8,10 dan 12 liter/jam
5. Variasi sudut kemiringan pada panel kolektor surya berbasis aluminium foam yaitu 0°,10°,30° dan 40°
6. Alat uji yang dipakai adalah *Solar Thermal Energy Gunt ET-202*

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

1. Sebagai tugas akhir, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Menjadi referensi untuk penelitian serupa kedepannya.
3. Memanfaatkan kolektor panas matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi konsumsi energi fosil
4. Memberikan penjelasan bagaimana sebuah pelat absorber berpengaruh pada efisiensi kolektor surya pemanas air dengan penambahan *Porous Aluminium Foam*.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan topik dalam pembuatan skripsi ini dibagi dalam lima bab untuk memudahkan pembahasan dan juga agar skripsi tersusun dengan rapi,

sistematika dan mudah dipahami. Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut.

### **Bab I Pendahuluan**

Dalam bab ini dibahas secara rinci waktu dan tempat penelitian, jenis dan sumber data, pengumpulan data, metode analisis data untuk menjawab permasalahan yang diteliti dalam kerangka pembahasan.

### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Dalam bab ini diuraikan teori-teori yang relevan dan lengkap yang menjadi dasar/landasan melakukan penelitian. Teori-teori tersebut didapat dari berbagai sumber dan merupakan hasil penelitian kepustakaan sebagai landasan melakukan penelitian. Bab 2 ini berisi teori-teori umum mengenai sistem informasi geografi dan teori-teori khusus yang berdasarkan topik penelitian.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Pada Bab ini dibahas dengan rinci waktu dan tempat dilakukannya penelitian, jenis dan sumber data, pengumpulan data, metode analisis data untuk menjawab permasalahan yang diteliti dalam kerangka penelitian.

### **Bab IV Hasil Dan Pembahasan**

Merupakan bab yang membahas data hasil perbandingan setelah pengambilan data dan pembahasan mengenai hasil data tersebut

### **Bab V Penutup**

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian serta saran-saran yang berguna untuk penyempurna dan pengembangan skripsi ini kedepannya.

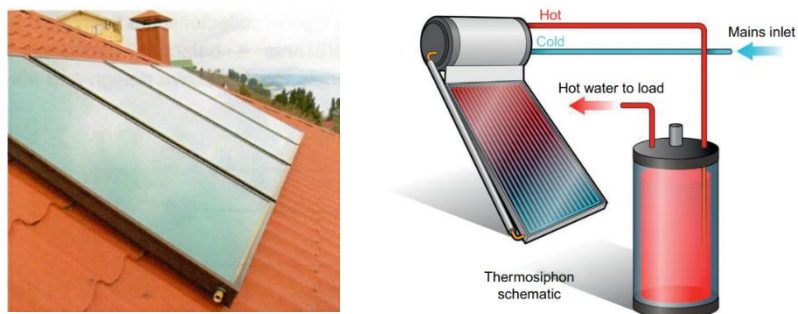
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pemanas Air Tenaga Surya

Pemanas Air Tenaga Surya adalah sebuah alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas matahari ke dalam air. Radiasi matahari ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan kemudian diserap oleh pelat penyerap (pelat absorber). Selanjutnya, energi panas pada pelat absorber ditransfer ke air yang mengalir dalam pipa, yang terlihat pada gambar 2.1.

Pemanas Air Tenaga Surya memiliki komponen utama yang terbuat dari selembar bahan konduktif termal yang disebut pelat penyerap (absorber) yang kepadanya menempel pipa-pipa pembawa cairan (air) atau biasa disebut pipa pemanas (riser pipe). Absorber ini terbuat dari lembaran metal tipis dan permukaannya dibuat berwarna hitam untuk memaksimalkan penyerapan radiasi matahari. Menurut teori yang ada, benda hitam adalah penyerap radiasi yang baik.

Penghitaman bisa dilakukan dengan pengecatan warna hitam sebagai cara yang paling mudah. Adapun cara yang lebih canggih dengan proses pelapisan seperti elektroplating, anodizing, dan lain-lain. Cara pelapisan canggih tersebut, misal dengan black chrome atau black nickel, dimasukkan selain untuk mempertinggi penyerapan material terhadap radiasi matahari, juga untuk memperendah emitansinya terhadap gelombang sinar infra merah.



**Gambar 2.1.** Kolektor Surya Pemanas Air. (Hudon,2014)

## 2.2. Sistem Surya Pemanas Air

Sistem Surya pemanas air yang terintegrasi adalah sistem pemanas air tenaga surya yang menggabungkan kolektor surya dan tangki penyimpanan (storage tank), dimana potensi yang dihasilkan dalam sistem tersebut dapat mengurangi kebutuhan energi pemanas air skala domestik dengan biaya rendah secara signifikan. (Garnier dkk, 2018).

Pada umumnya, sistem surya pemanas air atau solar water heating system skala domestik terdiri atas tiga komponen utama yaitu collector, heat-exchangers dan isolated storage tank. Sedangkan berdasarkan posisinya secara permanen, kolektor surya juga terdiri dari berbagai tipe yaitu Flate Plate Collector (FPC), Ecavuated Tube Collector (ETC) dan Compound Parabolic Collector (CPC). Secara sistem, pelat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan mentransfernya ke cairan atau fluida yang mengalir. Sehingga dapat juga dibedakan berdasarkan klasifikasi temperaturnya, pada umumnya Flate Plate Collector (FPC) beroperasi pada temperatur rendah sampai temperatur 100°C, untuk jenis Ecavuated Tube Collector (ETC) beroperasi pada temperatur lebih tinggi daripada FPC dikarenakan terdapat tabung kaca konsentris vakum yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas secara konveksi dan konduksi, sedangkan Compound Parabolic Collector (CPC) menggunakan permukaan yang reflektif untuk memusatkan cahaya matahari pada area yang sangat kecil sehingga kalor mudah untuk diserap. (Kalogirou,2004)

Ada dua jenis sistem kolektor surya pemanas air yaitu sistem loop terbuka dan sistem loop tertutup. Pada sistem loop terbuka, dimana pada sistem ini air dipanaskan langsung oleh kolektor, sedangkan sistem loop tertutup atau tidak langsung yang dimana pada sistem ini air dipanaskan secara tidak langsung oleh fluida, secara garis besar transfer panas yang dipanaskan di kolektor setelah fluida dipanaskan lagi di kolektor, fluida kemudian dipompa ke tangki penyimpanan dimana terdapat heat exchanger untuk mentransfer kalor dari fluida ke air untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Sistem juga berbeda sehubungan dengan cara fluida melakukan perpindahan panas yaitu

sistem alami (pasif), sistem sirkulasi paksa (aktif). Dua jenis sistem yang termasuk dalam sistem pasif adalah termosifon dan sistem penyimpanan kolektor terintegrasi, yang dimana pada sistem pasif menggunakan metode perpindahan panas konveksi alami dan tanpa alat mekanis untuk mengalirkan fluida air dari kolektor ke tangki penyimpanan. Sedangkan dalam sistem aktif menggunakan kombinasi dengan peralatan konvensional yang dimana fluida air atau cairan transfer panas dipompa melalui kolektor. Klasifikasi sistem surya pemanas air berdasarkan sirkulasi aliran fluida dapat dilihat pada tabel 2.1 ( Kalogirou, 2009).

**Tabel 2.1.** Klasifikasi dari sistem surya pemanas air ( Kalogirou, 2009)

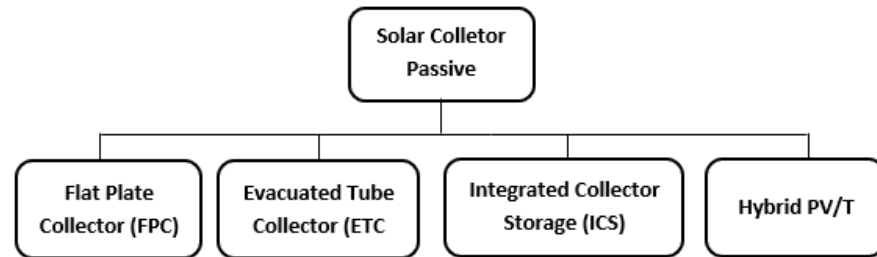
<i>Passive System</i> (Sistem Alami)	<i>Active System</i> (Sistem Sirkulasi Paksa)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Thermosiphon (direct and indirect)</i></li> <li>- <i>Integrated collector storage</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Direct circulation system</i></li> <li>- <i>Indirect Circulation system</i></li> <li>- <i>Internal dan External heat exchangers air system</i></li> <li>- <i>Heat Pump system</i></li> <li>- <i>Pool Heating system</i></li> </ul>

### 2.3. Kolektor Surya

Kolektor surya adalah sistem sederhana dari penukar panas yang mengubah radiasi matahari menjadi panas, yang disampaikan oleh *Heat Transfer Fluids* (cairan transfer panas) dan energinya dapat disimpan untuk melakukan berbagai hal dalam pemanfaatan energi panas, seperti pemanas air skala domestik dan industri. ataupun pemanfaatan energi panas yang diubah menjadi energi listrik ( Duffie & Beckman, 2006; ).

Kolektor surya Pada dasarnya terdapat dua jenis berdasarkan fungsinya atau penggunaannya yaitu *Flate Plate Collector* yang biasanya digunakan untuk keperluan rumah tangga atau domestik dan industri, yang umumnya memiliki penutup kaca (*Flate Plate*) dan *Evacuated tube collector* yang biasa di aplikasikan atau digunakan pada kolam renang air panas tanpa menggunakan glasir sedangkan jenis Solar Collector pasif atau posisi yang tetap terbagi atas

4 jenis yaitu *Flat Plate Collector (FPC)*, *Evacuated Tube Collector (ETC)*, *Integrated Collector Storage (ICS)* yang mirip dengan *Compound Parabolic Collector (CPC)* dan *Hybrid PV/T*. seperti yang terlihat pada gambar 2.2 mengenai klasifikasi kolektor surya jenis pasif atau *solar collector passive*.



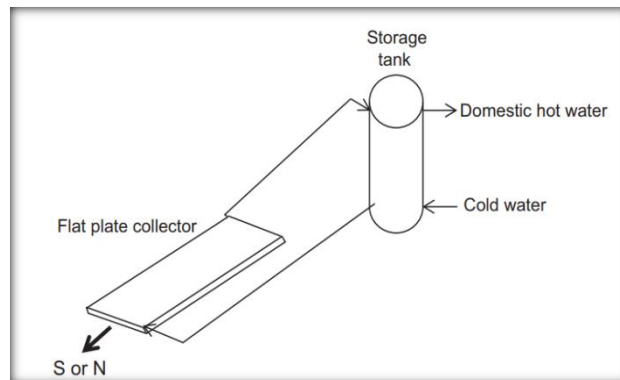
**Gambar 2.2.** Klasifikasi dari *solar collector passive*. (Prado R.T.A & Sowmy D.S 2016).

Aplikasi penggunaan dari beberapa tipe kolektor ini juga disesuaikan dengan tingkat kebutuhan domestik dengan keunggulan masing-masing dari tipe tersebut, salah satu nya tipe Pemanas Air surya tipe konvensional (FPC) memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan seperti kerugian konveksi-konduksi lebih rendah daripada ETC. Rasio luas pelat absorber terhadap luas keseluruhan lebih rendah dan radiasi matahari selalu jatuh tegak lurus ke tabung dibandingkan dengan ETC. Namun, Efisiensinya lebih rendah pada temperatur yang lebih rendah. (Tewari dan Dev, 2019)

#### 2.4. Kolektor Pelat Datar

Kolektor pelat datar merupakan salah satu jenis solar kolektor yang berfungsi untuk mengumpulkan energi panas matahari yang terdiri dari pelat penyerap termal konduktif yang biasanya terdapat satu atau dua penutup transparan di atasnya yang berfungsi untuk mencegah panas konveksi ke udara sekitar, insulator panas yang dibelakang nya mengurangi kehilangan panas dengan konduksi, pipa yang berfungsi untuk meneruskan cairan termal panas ke tangki penyimpanan serta *casing* untuk melindungi kolektor dari debu dan uap air dan juga untuk memberikan kekuatan pada mekanis pada set. Sistem kolektor pasif memindahkan panas dari kolektor ke tangki penyimpanan dengan prinsip konveksi alami, juga disebut sebagai termosipon yaitu tanpa dukungan pompa listrik. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Karena

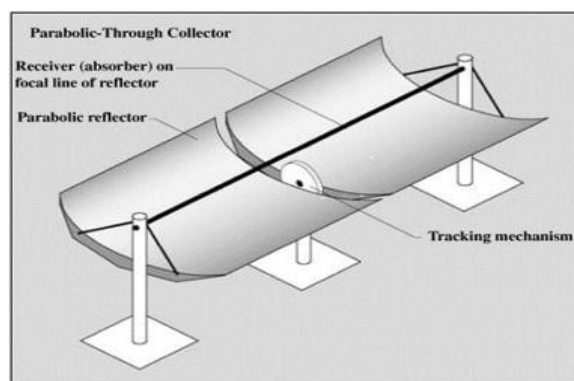
intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ ) bervariasi sesuai dengan lokasi, musim, dan langit berawan, di daerah beriklim sedang dan dingin, sumber panas listrik atau gas biasanya dipasang sebagai sistem bantu di dalam atau di luar tangki agar air mencapai suhu yang diinginkan ( $45-50\text{ }^\circ\text{C}$  atau bahkan lebih tinggi). Dapat dicampur dengan air dingin mencapai sekitar  $38\text{ }^\circ\text{C}$  untuk memberikan mandi atau shower yang nyaman. (Prado R.T.A dan Sowmy D.S 2016 )



**Gambar 2.3.** Kolektor Pelat Datar. (Prado R.T.A & Sowmy D.S 2016).

## 2.5. Kolektor Bentuk Parabola

Kolektor Bentuk Parabola merupakan jenis kolektor yang memiliki kemampuan dalam merefleksikan semua radiasi yang datang ke absorber tanpa batasan. Pergerakan konsentrator dibantu oleh reflektor pada dua sisi dari parabola saling berhadapan untuk mengatasi permasalahan orientasi arah matahari. Penggunaan multi reflektor memungkinkan radiasi apa pun yang masuk dengan sudut terima, maka absorber yang terletak dibagian bawah akan mudah menyerap kalor dengan konfigurasi yang bervariasi. Seperti yang terlihat pada gambar 2.5 (Kalogirou, 2004)

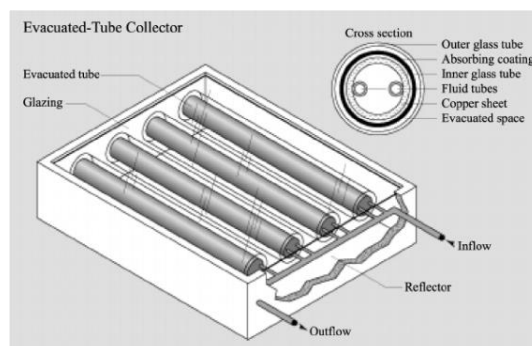


**Gambar 2.4.** Kolektor bentuk parabola. (Kalogirou, 2004).

## 2.6. Kolektor Bentuk Tabung

Prinsip kerja dari Kolektor Bentuk Tabung atau *Evacuated Tube Collector* berbeda dengan tipe kolektor lain yang komersial. Komponennya terdiri atas; (1) *evacuated tube (glass-glass seal)* yang berfungsi untuk meminimalkan kehilangan panas, (2) *copper heat-pipe*, berfungsi sebagai alat penukar panas yang cepat, dan (3) *casing*, material dari aluminium berfungsi sebagai pelindung sekaligus rangka struktur yang terintegrasi dengan sistem. Keunggulan dari Kolektor bentuk tabung ini yaitu memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan Kolektor pelat datar dengan sudut terima yang rendah sepanjang hari karena menggunakan PCM dan menghasilkan temperatur fluida tinggi. Sedangkan kelemahannya yaitu biaya pembuatan dan pemeliharaan yang tinggi, sehingga kurang kompetitif untuk dipasarkan (Shukla *et al.*, 2013).

Pada Umumnya, kolektor bentuk tabung ini didesain dengan menempatkan material konduktor dengan konduktivitas termal tinggi salah satunya tembaga dalam tabung vakum. Tabung vakum berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas konveksi dan konduksi. Pipa tembaga yang berada dalam tabung diberikan sirip berperan sebagai pelat absorber. Tonjolan pada masing-masing tabung dihubungkan dengan kondenser. Sedangkan Heat Pipe terisi fluida kerja (cairan) yang akan mengalami siklus kondensasi dan penguapan. Gambaran dari Evacuated Tube Collector dapat dilihat pada gambar 2.4 ( Kalogirou, 2004)



**Gambar 2.5.** Kolektor Bentuk Tabung. (Kalogirou, 2014).



## 2.7. Pelat Absorber

Pelat absorber adalah penyerap radiasi matahari yang merupakan bagian dari kolektor yang menerima radiasi matahari, pelat absorber tidak sama dengan sel surya yang tidak mengubah energi dari matahari menjadi listrik, pelat absorber mengubah energi matahari menjadi panas, panas yang dihasilkan untuk mengurangi listrik yang digunakan hal itulah merupakan perangkat hemat energi dan seringkali juga disebut sebagai energi terbarukan dalam kategori konservasi energi. Metode yang paling umum digunakan untuk mentransfer panas dari pelat absorber ke tempat yang paling dibutuhkan adalah cairan atau air. Jadi jika pipa tembaga harus terkena matahari, mereka akan menyerap energi dan memanaskan air dalam pipa. Ini tidak terlalu efisien sehingga pekerjaan dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan permukaan. Yang ideal adalah memiliki satu bahan yang menyerap dalam cahaya dan mengubah cahaya menjadi panas. Pendekatan yang sangat berteknologi sederhana adalah melapisi permukaan dengan cat hitam kusam yang dimana akan menjadi penyerap yang lebih baik daripada permukaan logam dasar. Pada gambar 2.6 memperlihatkan bentuk pelat absorber yang terpasang pada panel.



**Gambar 2.6.** Pelat absorber (Gunt ET-202 Manual Book).

## 2.8. Metal Foam

*Metal Foam* adalah suatu logam yang memiliki pori-pori di hampir setiap bagian logam tersebut. Metal Foam memiliki sifat-sifat unik diantaranya memiliki konstruksi yang ringan, sifat kekakuannya tinggi namun memiliki kepadatan yang rendah, dapat menyerap energi, dan dapat mengisolasi panas

dan suara. Pada gambar 2.7 memperlihatkan salah satu jenis material *metal foam* dalam hal ini gambar dibawah merupakan bentuk fisik dari *Aluminium Foam*.



**Gambar 2.7.** *Metal Foam* (surrey.ac.uk ).

## 2.9. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor didefinisikan sebagai berpindahnya kalor dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah [Kreith,F, 1986]. Analisis termodinamika berkaitan dengan banyaknya perpindahan kalor pada suatu sistem, yang selalu terjadi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah hingga mencapai titik seimbang (tidak ada perbedaan temperatur)

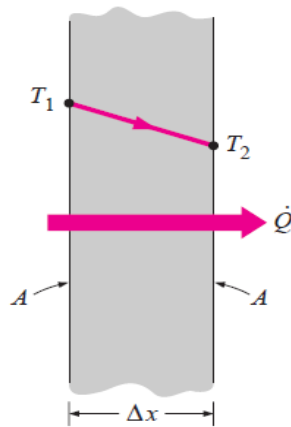
Perpindahan kalor sangat banyak ditemui dalam *Engineering system* ataupun kehidupan sehari-hari. Pada penelitian kali ini perpindahan kalor yang terjadi ada 3 yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

### 1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada medium yang berlainan tanpa disertai perpindahan partikel zat[Kreith,F, 1986]. Adapun skema dari sistem konduksi terlihat pada gambar 2.8 dan Energi yang dipindahkan dari konduksi dapat dituliskan dengan persamaan[10].

$$Q = k \times A \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots (1)$$

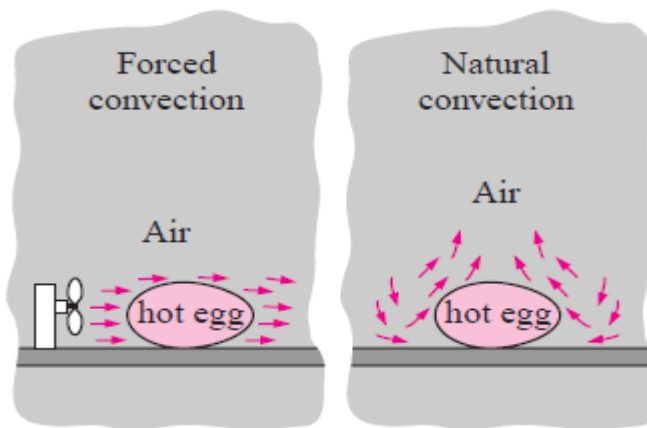
- Dimana :
- Q : Banyaknya energi yang dipindahkan (joule)
  - k : Konduktivitas benda (W/m.°C)
  - ΔT : perbedaan temperatur
  - Δx : Ketebalan benda (m)



**Gambar 2.8** : Konduksi pada dinding dengan tebal  $\Delta x$  dan luas  $A$

## 2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi karena partikel zat bertemperatur tinggi berpindah tempat ke partikel zat bersuhu lebih rendah. Umumnya konveksi terjadi pada satu medium cair dan gas [Kreith, F, 1986]. Adapun jenis konveksi terlihat pada gambar 2.9. Pada penelitian kali ini, konveksi terjadi pada lingkungan luar ke pelat



**Gambar 2.9** : Konveksi paksa dan konveksi bebas

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya panas yang terjadi akibat konveksi ialah [Cengel, 2003] :

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:  $Q$  : Besarnya kalor yang dikonveksikan (joule)  
 $h$  : koefisien konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $A$  : luas permukaan terjadinya konveksi ( $m^2$ )

- $T_s$  : temperature permukaan benda padat ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_{\infty}$  : temperature fluida yang cukup jauh ( $^{\circ}\text{C}$ )

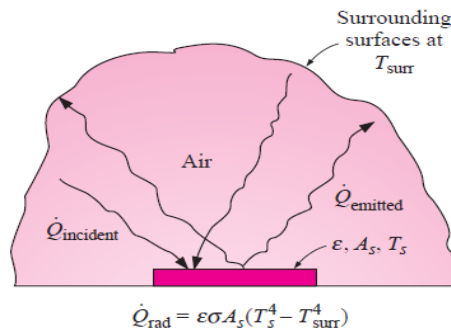
### 3. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau cahaya) yang merupakan perbukuan konfigurasi atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan energi melalui radiasi tidak memerlukan medium perantara untuk berpindah, pada faktanya energi radiasi bergerak lebih cepat dibandingkan konduksi dan konveksi (secepat cahaya) dan tetap dapat bergerak dalam hampa udara, dengan inilah panas dari matahari dapat mencapai bumi. Sebagai contoh antara dua permukaan seperti yang terlihat pada gambar 2.10.

Radiasi adalah fenomena *volumetric* yang dimana semua benda baik padat cair maupun gas memancarkan dan menyerap radiasi, dan biasanya radiasi dihubungkan dengan benda padat yang buram, misalnya metal, kayu ataupun batu, adapun besarnya radiasi yang dapat diserap oleh suatu benda dapat dituliskan dalam persamaan [Cengel, 2003].

$$Q = \epsilon \sigma A T_s^4 \dots\dots\dots(3)$$

- Dimana  $Q$  : Kalor radiasi yang diserap (joule)
- $\epsilon$  : Emisivitas benda
- $\sigma$  :  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- $T_s$  : Temperatur permukaan benda (K)



**Gambar 2.10** : Perpindahan kalor radiasi antara dua permukaan

## 2.10. Formulasi Kesetimbangan Energi pada *Solar Thermal Collector*

Fungsi kolektor surya yaitu menyerap radiasi matahari yang tersedia secara optimal dan menyediakan panas untuk kebutuhan tertentu. Untuk menentukan besaran efisiensi dari suatu kolektor, maka perlu memperhatikan hubungan efisiensi dengan beberapa variasi kerugian kalor. Adapun tahap perhitungan dalam mencari efisiensi kolektor dan kerugian kalor sebagai berikut :

### A. Flow Rate Air yang bekerja dalam sistem

Untuk mengkonversi satuan laju aliran massa yang bekerja dalam sistem dari L/h ke Kg/s maka digunakan persamaan :

$$\dot{V} = \frac{F}{t} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $\dot{V}$  = Laju Aliran Massa (Kg/s)  
 $F$  = Flow Rate (l/h)  
 $t$  = Waktu (s)

### B. Panas yang berguna pada kolektor

Adapun untuk mengetahui panas yang berguna pada kolektor maka digunakan persamaan berikut :

$$Q_n = \dot{V} \times \rho \times C_p \times (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :  $Q_n$  = Panas yang berguna (Watt)  
 $\dot{V}$  = Laju Aliran Massa (Kg/s)  
 $\rho$  = Massa jenis air (Kg)  
 $C_p$  = Kalor Spesifik air (kJ/kg.K)  
 $T$  = Temperatur

### C. Efisiensi Teoritis kolektor

$$\eta = \frac{Q_n}{R \times A} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :  $R$  = *Illuminance* (kW/m<sup>2</sup>)  
 $A$  = Luas Kolektor (m<sup>2</sup>)

Adapun Tahapan dalam mencari kerugian kalor pada kolektor surya pemanas air, sebagai berikut :

1. Analisa Perpindahan panas konveksi

- A. Koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan udara luar.

Koefisien perpindahan panas konveksi oleh kaca penutup transparan terhadap udara luar [Munahar, 2015], didasarkan pada hembusan angin di atas penutup transparan:

Bilangan Reynold,

$$Re = V \frac{L}{\nu} \dots\dots\dots(7)$$

- Dimana:      V      = kecepatan angin, m/s  
                   ν      = viskositas kinematik, m<sup>2</sup>/s  
                   L      = Panjang karakteristik penutup, m

Bilangan Nusselt, N<sub>u</sub>

$$Nu = 0,94Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(8)$$

$$h_w = \frac{Nu_L \cdot k}{L} \dots\dots\dots(9)$$

- Dimana:      k = koefisien konveksi, W/m.K

- B. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan penutup.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan penutup (h<sub>1</sub>) didekatidengan persamaan[Munahar, 2015],

Bilangan Nusselt, N<sub>u</sub>

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/2} - 1 \right]^+ \dots\dots\dots(10)$$

- Dimana:      β = sudut kemiringan kolektor

Rayleigh Number, R<sub>a</sub>:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:  $\Delta T$  : beda temperatur antara pelat dengan cover, K  
 $L$  : jarak pelat dengan Penutup, m  
 $\alpha$  : *thermal diffusivity*,  $m^2/s$

Sehingga diperoleh:

$$h_{c_{p-c}} = \frac{N_u \cdot k}{L} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana:  $L$  : Panjang karakteristik penutup, m

C. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan fluida kerja.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat *absorber* dengan fluida kerja yang melibatkan aliran dalam (*internal flow*) dengan asumsi *heat flux* konstan [Holman, 1981], yaitu:

Untuk aliran laminer maka:

$$h_f = \frac{N \cdot Nu \cdot k}{L} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana:  $N_u$  : bilangan nusselt  
 $D_h$  : diameter hidrolisis, m

$D_h$  adalah diameter hidrolisis dari pipa [Holman, 1981], yaitu:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:  $A$  : Luas penampang,  $m^2$   
 $P$  : Keliling pipa, m

2. Analisa perpindahan panas radiasi

Adapun koefisien perpindahan panas radiasi yaitu :

A. Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dengan udara luar.

Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup terhadap udara luar [Holman, 1981] dapat dihitung berdasarkan:

$$h_{r_{c-a}} = \epsilon_c \frac{\sigma(T_c^4 + T_s^4)}{(T_c - T_s)} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:  $\epsilon_c$  = *emisivitas* penutup

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman ( $5,6697 \times 10^{-8}$ ,  
W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

$T_c$  = temperatur penutup, K

$T_a$  = temperatur udara luar, K

$T_s$  adalah *sky temperature* yang berkaitan dengan temperatur udara luar [Cengel, dkk, 2003], sehingga dapat dihitung berdasarkan:

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \dots\dots\dots(16)$$

B. Koefisien perpindahan panas radiasi antara pelat-penutup

Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup [10], yaitu :

$$h_{rp-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} + \frac{1}{F_{1-2} \cdot A_p} + \frac{1-\epsilon_c}{\epsilon_c \cdot A_c}} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana:  $\epsilon_c$  :emisivitascover

$\epsilon_p$  :emisivitaspelat

$A_p$  :Luas Absorber (m<sup>2</sup>)

$A_c$  : Luas penutup (m<sup>2</sup>)

3. Koefisien perpindahan panas kolektor yang akan dihitung yaitu [Munahar, 2015]:

A. Koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (Ut).

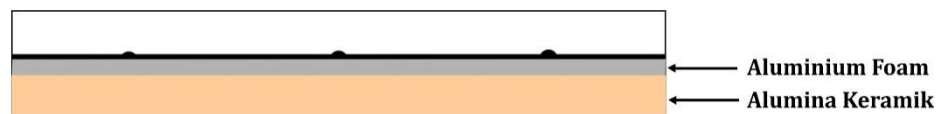
Dari rangkaian termal,

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{rc-a}} \dots\dots\dots(18)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{cp-c} + h_{rp-c}} \dots\dots\dots(19)$$

$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \dots\dots\dots(20)$$

B. Koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor

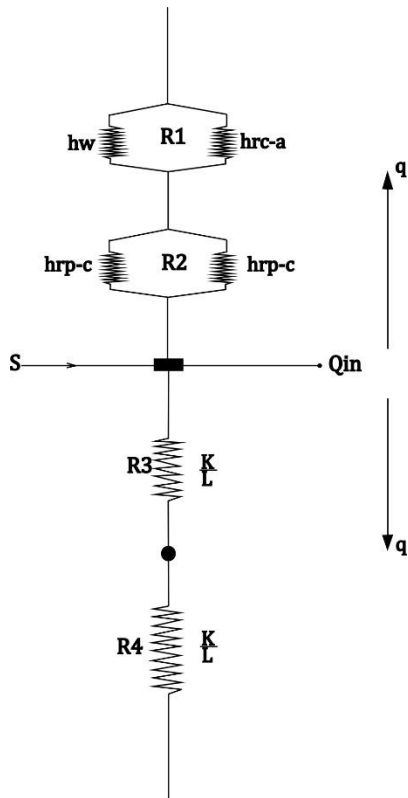


**Gambar 2.11.** Tampak samping bagian bawah panel kolektor foam



$$U_b = \frac{1}{\left[ \frac{L_k}{k_k} + \frac{L_a}{k_a} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{1}{h_f} \right]} \dots\dots\dots(21)$$

- Dimana:
- $L_p$  : ketebalan kertas, m
  - $L_a$  : ketebalan alumunium foil, m
  - $L_{pp}$  : ketebalan polypropylene, m
  - $k_p$  : konduktivitas kertas, W/mK
  - $k_a$  : konduktivitas aumunium foil, W/mK
  - $k_{pp}$  : konduktivitas polypropylene, W/mK
  - $h_f$  : koefisien konveksi pelat ke air, W/m<sup>2</sup>K



**Gambar 2.12.** Jala-jala termal

Koefisien perpindahan panas total kolektor.

$$U_L = U_t + U_b \dots\dots\dots(22)$$