

SKRIPSI

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

DISUSUN OLEH

**MUHAMMAD MATSNAN ARIFUDDIN
D211 16 016**



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

SKRIPSI

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

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD MATSNAN ARIFUDDIN

D211 16 016

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

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

Disusun dan diajukan oleh


MUHAMMAD MATSNAN ARIFUDDIN

D211 16 016

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,

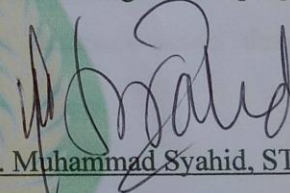
Pembimbing Utama,



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Muhammad Matsnan Arifuddin

NIM : D211 16 016


JUDUL SKRIPSI : Pengaruh Penambahan *Porous Aluminium Foam* Pada Bagian Atas Pelat Absorber Terhadap Efisiensi Kolektor Surya Pemanas Air

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 30 / 03 / 2021

nyataan,

Muhammad Matsnan Arifuddin

Scanned by TapScanner

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

Nama : MUHAMMAD MATSNAN ARIFUDDIN
Nim : D211 16 016
Pembimbing I : Dr.Eng. Jalaluddin, ST, MT
Pembimbing II : Dr. Muhammad Syahid, ST, MT

ABSTRAK

Penelitian mengenai kolektor surya pemanas air adalah hal yang tepat dilakukan karena menggunakan energi surya yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang tidak terbatas, maka penelitian ini dilakukan tentang modifikasi panel kolektor surya dengan penambahan *aluminium foam* pada bagian atas pelat absorber sebagai TES (*Thermal Energy Storage*) untuk mengetahui apakah efektif jika *aluminium foam* sebagai penyimpan kalor atau tidak jika diposisikan pada bagian atas pelat absorber. Penelitian ini dilakukan di laboratorium energi terbarukan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode *Experimental Laboratory* atau laboratorium riset dan teknologi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *aluminium foam* yang diposisikan pada bagian atas pelat absorber tidak bisa menjadi penyimpan energi kalor dibandingkan jika *aluminium foam* diposisikan pada bagian bawah pelat absorber, fenomena ini terjadi karena kalor yang menuju panel kolektor terlebih dahulu terserap dan tersimpan di dalam *aluminium foam* sebelum sampai pada pelat absorber yang di mana pelat absorber sebagai pelat yang mengabsorpsi kalor ke fluida penghantar panar panas yang di mana fluida penghantar panas ini akan mengalir menuju *heat exchanger* untuk memanaskan air yang ada di dalam tangki penyimpanan.

Kata Kunci : Kolektor Surya, *Aluminium Foam*, TES (*Thermal Energy Storage*)

ABSTRACT

Research of solar collectors water heater is the right thing to do because it uses solar energy that is environmentally friendly and its availability is not limited, then this research was conducted about the modification of solar collector panels with the addition of aluminum foam at the top of the absorber plate as a test (thermal energy storage) to find out if it is effective if aluminum foam as a heat storage or not if positioned at the top of the absorber plate. this research was conducted in the renewable energy laboratory of the faculty of engineering, hasanuddin university using experimental laboratory or research and technology laboratory. the results of this study showed that aluminum foam positioned at the top of the absorber plate cannot be a heat storage compared to if aluminum foam is positioned at the bottom of the absorber plate, this phenomenon occurs because the heat leading to the collector panel is first absorbed and stored in the aluminum foam before it reaches the absorber plate where the absorber plate as the plate that condenses the heat to the heat panar transmission fluid in which this heat-delivering fluid will flow towards the heat exchanger to heat the water in the storage tank.

Key words : Solar collector, Aluminium Foam, TES (Thermal Energy Storage)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Serta salam dan shalawat penulis sampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari alam jahiliyah menuju alam kemajuan seperti sekarang ini.

Penulis menyadari bahwa untuk menyelesaikan skripsi serta penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang penulis hadapi hingga sampai ke penyelesaian skripsi dan penelitian ini. Namun berkat do'a dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya skripsi dan penelitian ini Alhamdulillah penulis telah berhasil menyelesaikannya. Oleh karena ini dengan penuh rasa hormat dan tulus penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr-Eng. Jalaluddin , ST, MT selaku pembimbing utama dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST,MT selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan begitu banyak pelajaran berharga bagi penulis, yang tidak ternilai harganya, beliau telah bersedia meluangkan waktu dan tenaganya serta memberikan motivasi dan ide – ide kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Tak lupa terkhusus penulis haturkan ucapan terima kasih kepada Ayahanda sekaligus motivasi hidup penulis Arifuddin, S.Pd., M.M. yang telah memberikan sangat banyak dukungan dan pelajaran berharga kepada penulis serta Ibunda Dra. Miming Salmah S yang telah merawat dan membesarkan penulis tanpa rasa lelah dari kecil hingga saat ini, dan memberikan semangat serta dukungan yang tidak ada habisnya kepada penulis, dan juga kepada kakak dan adik penulis Nur Ummu Pratiwi Arifuddin, S. Pd, Luthfiyyah Zahra Arifuddin dan Nurul Muthmainnah Arifuddin yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis juga kepada partner bisnis penulis Muh Iqbal Fajri yang tetap mengingatkan penulis untuk mengerjakan skripsi dan memberikan semangat, serta keluarga besar yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu ada memberikan dukungan kepada penulis.

Pada kesempatan kali ini perkenankan penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian 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. Ir. H. Ilyas Renreng, MT selaku penasehat akademik penulis mulai dari semester pertama sampai semester lima dan bapak Fausan, ST.MT selaku penasehat akademik penulis mulai dari semester enam hingga sekarang yang telah membimbing dan membantu penulis selama menjalani studi.
4. Seluruh dosen penguji, bapak Dr. Andi Amijoyo Mochtar, ST,M.Sc, dan bapak Dr. Rustan Tarakka, ST,MT yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi penulis.
5. Seluruh staf administrasi Departemen Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.
6. Seluruh teman–teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin khususnya Angkatan COMPREZZOR 2016. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya. Dan teman – teman Rilagen yang menjadi teman seperjuangan dari semester awal hingga sekarang ini
7. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan (Bapak Muhammad Hasan Basri, ST.MT dan Muh. Farid Sulaiman) yang tak henti – hentinya memberikan penulis semangat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini
8. Teman-teman dan keluarga besar Komtek 09 SMFT – UH. Dan semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua baik dengan pahala penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima keritikan dan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi dan penelitian ini kedepannya.

Gowa, 24 Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
NOMENKLATUR	xi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pemanas Air Tenaga Surya.....	5
2.2 Sistem Surya Pemanas Air	6
2.3 Pelat Absorber	8
2.3.1. Logam (<i>Metal</i>).....	8
2.3.2. Metal <i>Foam</i>	9
2.4 Kolektor Surya.....	11
2.5 Perpindahan Kalor	12
2.6 Formulasi Keseimbangan Energi pada <i>Solar Thermal Collector</i>	15
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2. Peralatan dan Bahan yang digunakan	21
3.3. Prosedur Penggunaan Alat Laboratorium Gunt ET – 202	23
3.4. Metode Penelitian	24
3.5. Variabel Penelitian.....	25

3.6. Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran	26
3.7. Tahapan Pengambilan Data	26
3.8. Diagram Alir Penelitian	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Hasil Pengujian Eksperimental.....	28
4.1.1. Perhitungan Efisiensi Aktual Kolektor Pelat Datar	28
4.1.2. Perhitungan Efisiensi Aktual Kolektor Pelat Datar dengan Foam Atas	34
4.2. Pembahasan	41
4.2.1. Perakitan Solar Panel Kolektor	41
4.2.2. Diagram Sankey	42
4.2.3. Variasi Penambahan Pelat <i>Aluminium Foam</i> Pada Bagian Pelat Absorber Datar	44
4.2.4. Variasi Sudut Kemiringan	52
4.2.5. Variasi Laju Aliran	54
V. KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: <i>Aluminium Foam</i>	9
Gambar 2.2	: <i>Flat – Plate Collector</i>	12
Gambar 2.3	: Konduksi pada dinding dengan tebal Δx dan luas A	13
Gambar 2.4	: Konveksi paksa dan konveksi bebas	14
Gambar 2.5	: Perpindahan kalor radiasi antara dua permukaan.....	15
Gambar 2.6	: Tampak samping bagian bawah panel kolektor <i>foam</i>	19
Gambar 2.7	: Jala – jala termal.....	20
Gambar 3.1	: alat laboratorium ET-202 dan Sistem kerja alat ET-202	21
Gambar 3.2	: Data <i>Loger Omega T08</i>	21
Gambar 3.3	: Termokopel	22
Gambar 3.4	: Komputer.....	22
Gambar 3.5	: Dimensi Kolektor	22
Gambar 3.6	: Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran.....	26
Gambar 4.1	: Diagram sankey energi kalor yang diserap panel kolektor custom 10L/h dan energi kalor losses	42
Gambar 4.2	: Diagram sankey energi kalor yang diserap panel kolektor custom 10L/h dan energi kalor losses	43
Gambar 4.3	: Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 0°	44
Gambar 4.4	: Efisiensi kolektor VS Waktu pada sudut 0°	45
Gambar 4.5	: Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 10°	46
Gambar 4.6	: Efisiensi kolektor VS Waktu pada sudut 10°	47
Gambar 4.7	: Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 30°	48
Gambar 4.8	: Efisiensi kolektor VS Waktu pada sudut 30°	49
Gambar 4.9	: Energi kalor yang diserap VS Waktu pada sudut 40°	50
Gambar 4.10	: Efisiensi kolektor VS Waktu pada sudut 40°	51
Gambar 4.11	: Efisiensi kolektor custom VS Waktu pada sudut kemiringan 0° , 10° , 30° dan 40°	52
Gambar 4.12	: Efisiensi kolektor <i>foam</i> atas VS waktu pada sudut kemiringan 0° , 10° , 30° dan 40°	53
Gambar 4.13	: Efisiensi kolektor custom VS Waktu pada laju aliran 8L/h, 10L/h dan 12 L/h.....	54
Gambar 4.14	: Efisiensi kolektor <i>foam</i> atas VS Waktu pada laju aliran 8L/h, 10L/h dan 12 L/h.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Klasifikasi dari sistem surya pemanas air	8
Tabel 2.2 : Karakteristik sifat – sifat beberapa bahan logam.....	9
Tabel 2.3 : Sifat fisis dan <i>thermal metal foam</i>	10
Tabel 3.1 : Parameter pengukuran efisiensi solar kolektor	25

NOMENKLATUR		
Simbol	Keterangan	Satuan
R_f	Iuminasi dari Foam atas	W/m^2
R_c	Iuminasi dari Custom	W/m^2
\dot{V}	Laju Aliran Massa	kg/s
V_w	Kecepatan Angin	m/s
ρ	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 atas	$^{\circ}C, K$
$T_c\text{-luar}$	Temperatur Kaca Luar	$^{\circ}C, K$
$T_c\text{-dalam}$	Temperatur Kaca Dalam	$^{\circ}C, K$
ν	Visikositas Kinematik	m^2/s
D_h	Diameter Hidrolis	M

	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 atas ke Isolator	$W/m^2.K$
R_{k2}	Tahanan Termal dari Pelat ke Foam atas	$W/m^2.K$
$R1,R2$	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
H	Efisiensi	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Surya (Matahari) sebagai sumber energi terbesar seharusnya dapat dimanfaatkan secara optimal untuk wilayah Indonesia. Diversifikasi energi merupakan langkah yang harus ditempuh untuk mendapatkan sumber lain sehingga mengurangi ketergantungan akan sumber fosil. Indonesia merupakan negara yang melimpah akan energi surya dilihat dari letak yang potensial posisi surya yang menguntungkan. Pemanfaatan energi fosil sampai saat ini cukup mengkhawatirkan karena semakin menipisnya sumber energi disamping efek negatif yang ditimbulkannya akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca.

Permasalahan energi akan tetap menjadi topik yang harus dicarikan solusinya secara bersama – sama. Segala usaha untuk mendapatkan energi alternatif dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang bisa dikedepankan adalah energi surya.

Sistem Pemanas Air Tenaga Surya (SPATS) merupakan peralatan yang memanfaatkan energi surya untuk memanaskan air untuk kebutuhan domestik. SPATS yang terintegrasi adalah sistem pemanas air tenaga surya yang menggabungkan kolektor surya dan tangki penyimpanan (*Storage Tank*), dimana potensi yang dihasilkan sistem tersebut dapat mengurangi kebutuhan energi pemanas air skala domestik dengan biaya yang secara signifikan dapat menguntungkan.

Sistem pemanas air tenaga surya terdiri dari kolektor dan tangki penyimpanan. Alat yang digunakan untuk menangkap radiasi surya adalah kolektor surya, kemudian panas tersebut dipindahkan ke air yang ada didalam kolektor surya. Air panas yang keluar dari kolektor surya tersebut kemudian disimpan dalam suatu tangki penyimpanan. Salah satu langkah yang dapat mengoptimalkan energi yang diterima dan tersimpan lebih lama adalah dengan penambahan material penyimpan panas pada tangki penyimpanan, sistem kolektor surya yang dirancang adalah sistem kolektor pelat datar dengan posisi kolektor horizontal dengan panjang

pelat absorber (Setiawan, Bagus 2015) Sifat-sifat menarik dari aluminium *foam* seperti ringan, penyerapan energi yang baik, konduktivitas termal yang rendah, daur ulang telah memacu perkembangan proses baru dengan tujuan untuk mendapatkan bahan dengan hubungan yang baik antara sifat dan biaya. (Surace, R. dkk, 2009).

Pada umumnya, Sistem Pemanas Air Tenaga Surya (SPATS) domestik terdiri atas tiga komponen utama yaitu *Collector*, *Heat-Exchanger* dan *Isolated Storage-Tank*. Berdasarkan posisinya secara permanen (*Stationary*), kolektor surya juga terdiri dari tiga tipe yaitu *Flat-Plate Collectors* (FPC), *Evacuated-Tube Collectors* (ETC) dan *Compound Parabolic Collectors* (CPC). Pada, pelat absorber berfungsi menyerap radiasi surya dan mentransfernya ke cairan yang mengalir. Umumnya beroperasi pada temperatur rendah sampai temperatur 100°C. Untuk jenis ETC, kolektor ini bekerja pada pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan FPC karena terdapat tabung kaca konsentris vakum berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas secara konveksi dan konduksi. Sedangkan CPC menggunakan permukaan reflektif yang memfokuskan cahaya surya pada area yang sangat kecil sehingga kalor mudah diserap (Kalogirou, 2004).

Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, dikembangkan dengan menggunakan pengumpul panas yang biasa disebut kolektor. Salah satu pemanfaatan kolektor surya adalah kolektor surya pemanas air. Sebuah kolektor surya umumnya terdiri dari pelat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dimana pelat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan fluida air, dan kolektor surya pemanas air biasanya menggunakan penutup tembus cahaya di bagian atas. Energi radiasi surya yang datang ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh pelat penyerap dimana bagian dasar dan sisi kolektor diberi isolasi. Panas yang diterima oleh pelat penyerap selanjutnya dikonduksikan ke pipa-pipa pembawa fluida. Salah satu parameter yang berpengaruh pada kolektor surya pemanas air adalah absorber dari kolektor surya tersebut.

Aplikasi penggunaan ketiga tipe kolektor ini disesuaikan dengan tingkat kebutuhan konsumen domestik dengan keunggulan masing – masing tipe tersebut. Pemanas air surya konveksional (FPC) memiliki beberapa kelebihan dan beberapa

kekurangan seperti kerugian konveksi – konduksi lebih rendah daripada ETC. Rasio luas pelat absorber terhadap keseluruhan (*gross area*) lebih rendah dan radiasi surya surya selalu jatuh tegak lurus ke tabung dibandingkan dengan ETC. Namun, efisiensinya lebih rendah pada temperatur yang lebih rendah dan temperatur pemanasan yang efektif antara pukul 10:00 – 14:00 *local time* (Tewari dan Dev, 2019). Kombinasi SPATS terintegrasi dengan *Compound Parabolic Concentrator* (CPC) dengan permukaan tangki sebagian disolasi berguna untuk dapat menekan kerugian termal, biaya dan ukuran sistem SPATS (Hadjiat dkk, 2018).

Kebutuhan akan menggunakan SPATS semakin lama semakin meningkat hal ini disebabkan karena energi berupa minyak bumi semakin berkurang, sehingga riset-riset SPATS juga semakin berkembang menyebabkan kebutuhan akan alat uji SPATS yang fleksibel dalam penggunaannya sangat diperlukan, yaitu alat uji SPATS yang dapat digunakan pada hampir semua lokasi di muka bumi. Masalah yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah bagaimana memperoleh alat uji SPATS yang mampu digunakan pada hampir semua belahan bumi, walaupun setiap wilayah memiliki sudut kedatangan surya yang berbeda-beda, masalah ini dapat dipecahkan dengan membuat alat uji SPATS yang mampu mengatur sudut kemiringan kolektor dengan variasi yang besar dan mudah dalam pengaturannya. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah melakukan rancang bangun alat uji SPATS yang mengatur sudut kemiringan kolektor. Masalah lain yang mampu terpecahkan dengan adanya alat uji ini adalah dapat dilakukan penelitian SPATS yang memvariasikan sudut kemiringan kolektor surya. Urgensi penelitian mengarah kepenghematan dalam penggunaan energi, dimana SPATS berhubungan dengan kebutuhan air panas. Kebutuhan air panas yang semakin meningkat menyebabkan terjadi peningkatan penggunaan energi sehingga konsumsi bahan bakar semakin meningkat sehingga menyebabkan terjadi peningkatnya biaya dan pencemaran lingkungan serta pemanasan global akibat terjadi efek rumah kaca. Penggunaan energi surya yang merupakan energi alternatif terbarukan dapat menggantikan penggunaan energi yang dihasilkan minyak bumi. (Tangkemanda, Abram dkk, 2018).

Berdasarkan kajian literatur di atas mengidentifikasi bahwa dengan

modifikasi jenis bahan, bentuk konfigurasi, teknik pelapisan, pada absorber dapat memberikan pengaruh peningkatan efisiensi SPATS. Metode teknik augmentasi dengan penambahan *metal foam* ke kolektor juga memiliki pengaruh penting dalam absorpsi kalor, sehingga bisa meningkatkan performa dari SPATS.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, perumusan masalah yang dapat menjadi sumber pertimbangan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada bagian atas pelat absorber dengan variasi laju aliran ?
2. Bagaimana efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada bagian atas pelat absorber dengan variasi sudut kemiringan?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada bagian atas pelat absorber dengan variasi laju aliran.
2. Mendapatkan efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada bagian atas pelat absorber dengan variasi sudut kemiringan.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan menggunakan *Principles of Solar Thermal Energy Device*.

1. Variasi laju aliran fluida pada *Solar Water Heater System* yang berbasis aluminium *foam* pada laju aliran 8 L/h, 10 L/h dan 12 L/h.
2. Variasi sudut pada *Solar Water Heater System* yang berbasis aluminium *foam* pada sudut 0°, 10°, 30° dan 40°.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan pengetahuan tentang efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada pelat absorber dengan memberikan variasi laju aliran.
2. Mendapatkan pengetahuan tentang efisiensi kolektor dengan penggunaan aluminium *foam* pada pelat absorber dengan memberikan variasi sudut kemiringan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanas Air Tenaga Surya

Pemanas Air Tenaga Surya menggunakan aliran termosifonik telah digunakan sejak awal abad ke-20. Banyak dari sistem ini telah diinstal di Arizona, California dan Florida. Selama Perang Dunia I, sejumlah Kamp-kamp Angkatan Darat AS, khususnya di California Selatan, menggunakan sistem ini untuk pasokan air panas. Lain negara, mis. Israel, Jepang, dan Australia juga memilikinya mengadopsi penggunaan sistem ukuran domestik. Ini negara itu adalah fakta yang diketahui bahwa sekitar 30 persen dari populasi Israel menggunakan pemanas air surya di aliran termosifonik. Sistem pemanas air tenaga surya termosifonik menjadi subjek dari sejumlah besar investigasi. Studi-studi ini adalah salah satu dari eksperimen atau sifat analitis. Karya-karya lain digabungkan model analitik dan eksperimen untuk memvalidasi sebagian prediksi teoritis. (Shitzer, A. dkk, 1978).

Sistem Pemanas Air Tenaga Surya (SPATS) atau sistem pemanas air merupakan salah satu aplikasi dari *solar thermal*. Sistem pemanas air tenaga surya menggunakan energi terbarukan berupa radiasi surya yang diubah menjadi energi kalor dan ditransmisikan ke media seperti udara dan air. (Jamar *et al.*, 2016). Efisiensi termal SPATS sangat tergantung pada transmisivitas, absorptivitas, konduktansi dan konduktivitas termal fluida kerja (Jaisankar *et al.*, 2011).

Secara umum, komponen SPATS terdiri atas *solar radiation collector panel*, *storage tank* dan *heat transfer fluid*. Di samping itu, terdapat beberapa alat tambahan seperti pompa (hanya pada sistem aktif), unit pemanas tambahan, sistem perpipaan dan *heat exchanger*.(Jamar *et al.*, 2016).

Solar water heater memiliki dua jenis sistem, yaitu sistem aktif dan sistem pasif. Untuk sistem aktif SPATS menggunakan kolektor untuk memanaskan fluida, unit penyimpanan (*storage unit*) menyimpan energi kalor tenaga surya sampai dibutuhkan dan peralatan distribusi untuk menyalurkan energi surya ke ruangan yang dipanaskan secara teratur. Kombinasi dengan peralatan konvensional, SPATS menjaga tingkat kenyamanan, stabilitas temperatur dan kemampuan yang sama, seperti halnya sistem konvensional. Sistem SPATS ini juga dikenal sebagai sistem

sirkulasi paksa yang terdiri atas *open loop (direct)* dan *close loop (undirect)*. Sistem *open loop* SPATS dimana fluida yang telah dipanaskan di kolektor dipompa ke tangki penyimpanan dan kemudian disalurkan melalui pipa untuk digunakan di rumah. Sedangkan sistem *close loop* SPATS memindahkan fluida (*water-antifreeze mixture*). Setelah fluida dipanaskan di kolektor, fluida kemudian dipompa ke tangki penyimpanan dimana terdapat *heat exchanger* untuk mentransfer kalor dari fluida ke air untuk keperluan rumah tangga.

Untuk sistem pasif SPATS menggunakan metode perpindahan panas konveksi alami dan tanpa alat mekanis untuk mengalirkan air di antara kolektor dan tempat tangki penyimpanan yang ditinggikan. Dalam hal ini, kolektor dan penyimpanan digabung menjadi struktur bangunan dan fluida bergerak berdasarkan gradien temperatur yang terbentuk dari penyerapan radiasi surya. Sistem pasif SPATS terbagi atas:

1. *Thermosiphon*

Jenis paling umum dari SPATS ditemukan di pasaran. Umumnya dipasang di atap yang terdiri atas kolektor pelat datar, tangki penyimpanan dan pipa penghubung. Keunggulan dari sistem ini adalah perawatan yang mudah karena *safety* dan instrumentasi yang lebih sedikit.

2. *Integrated Collector Storage (ICS)*

Merupakan kombinasi dari kolektor surya dan tangki penyimpanan termal yang terintegrasi dalam satu unit. Bentuk dan konstruksi sehingga dapat mengurangi biaya.

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 surya dan mentransfernya ke cairan atau fluida yang mengalir. Sehingga dapat juga dibedakan berdasarkan klasifikasi temperatur operasinya, 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 surya 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"> - <i>Thermosiphon</i> (<i>direct and indirect</i>) - <i>Integrated collector storage</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Direct sirculation system</i> - <i>Indirect Sirculation system</i> <i>Internal dan External heat exchangers air system</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Heat Pump system</i> - <i>Pool Heating system</i>

2.3. Pelat Absorber

Absorber terdiri dari pipa dan *passageways*. Bentuk dan *layout* dari pipa pada *absorber* dirancang dan dirangkai secara seri, berbentuk *serpentine*, atau tabung besar (*manifold*) pada bagian atas, bawah atau sisi kolektor (*header/riser*). Biasanya, pipa pada *absorber* mempunyai jarak tertentu dimana tidak melebihi 150 mm. Beberapa *absorber* yang diproduksi dengan fluida kerja yang terintegrasi dengan pelat *absorber*. Desain konstruksi dari *absorber* dapat mempengaruhi besarnya laju perpindahan kalor fluida. Pada umumnya, *absorber* berbentuk pelat rata dan juga bisa berbentuk parabola sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya yaitu efisien dalam menyerap radiasi dan mentransfer panas fluida. Selain itu, pemilihan bahan isolasi juga akan mempengaruhi efisiensi kolektor, dimana bahan tersebut harus dapat menahan temperatur stagnasi (Laughton, 2010). Pemilihan sebuah *absorber* yang baik, perlu memenuhi kriteria seperti; pemilihan bahan, bentuk dan konfigurasi *absorber*, teknik augmentasi perpindahan kalor dan fluida kerja. Bahan *absorber*:

2.3.1. Logam (*Metal*)

Logam adalah bahan yang memiliki karakteristik sifat konduktivitas termal yang tinggi. Logam mempunyai kemampuan menyerap panas dan meneruskan panas ke fluida, sehingga bahan tersebut sangat baik digunakan sebagai *absorber*. Namun, kelemahannya adalah mudah kehilangan energi panas, jika temperatur sekelilingnya lebih rendah. Jenis logam yang digunakan sebagai *absorber* antara lain: aluminium, *copper*, *steel* dan *brass*. Urutan tingkat keefektifan bahan logam yang digunakan sebagai pelat *absorber* pada FPC dengan kriteria S yaitu tembaga, aluminium dan baja (Anarbaev dkk, 2007). Karakteristik sifat-sifat fisis beberapa bahan logam dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Karakteristik sifat–sifat fisis beberapa bahan logam

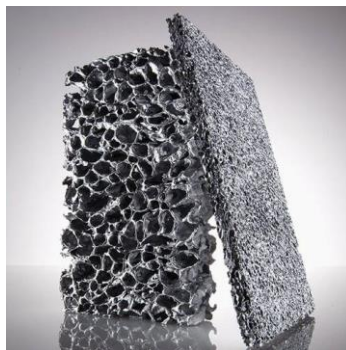
Sifat–sifat / Bahan	Aluminium	Copper	Steel
Densitas (kg/m ³)	2700	8900	7850
Melting Point (°C)	660	1083	1510
Konduktivitas Termal (W/m.°C)	220	393.5	50.2
Absorptivitas	0.94 – 0.95	0.92 – 0.95	0.95
Transmivitas	0.78	0.88	0.85
Emisivitas	0.04 – 0.05	0.33 – 0.05	0.85

Sumber : Anarbaev (2007)

Tembaga banyak digunakan sebagai *absorber* karena merupakan konduktor yang paling baik dengan konduktivitas termal yang tinggi. Secara umum, peningkatan kinerja kolektor diperoleh dengan kombinasi antara variasi konfigurasi bahan dan teknik augmentasi perpindahan panas.

2.3.2. Metal *Foam*

Busa atau *foam* merupakan salah satu dari padatan seluler ringan yang dibuat dengan membuat gelembung gas dalam bahan cair dan memadatkannya. Aplikasinya banyak digunakan sebagai isolator, saringan, kemasan produk, peredam dan lain – lain. Produk *foam* antara lain *rubber foam*, *plastic foam*, *metal foam* dan *keramik foam*. Gambar 2.1 memperlihatkan konfigurasi dari *metal foam*.



Gambar 2.1. Aluminium *Foam*

Tabel 2.3. Sifat fisis dan *thermal metal foam*

Sifat – sifat/bahan	Aluminium – <i>silicon carbide</i>	Aluminium	Aluminium	<i>Nickel</i>
Struktur	<i>Closed Cell</i>	<i>Closed Cell</i>	<i>Open Cell</i>	<i>Open Cell</i>
Densitas, ρ (Mg/m ³)	0.07 – 0.56	0.3 – 1	0.16 – 0.25	0.26 – 0.37
Titik didih, T (K)	830 – 910	840 – 850	830 – 920	1700 – 17200
Kapasitas kalor spesifik, Cp (J/kg.K)	830 – 870	910 – 920	850 – 950	450 – 460
Konduktivitas termal, k (W/m.K)	0.3 – 10	3 – 35	6 – 11	0.2 – 0.3
Ekspansi termal, α (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	19 – 21	19 – 23	22 – 24	12 – 14

Sumber : Anarbaev (2007)

Metal foam adalah bahan yang berasal dari unsur Al, Fw, Cu, Ag, Ni, Ti, dan *Alloy*. *Metal foam* mempunyai karakteristik seperti bahan yang berpori dengan porositas tinggi, ringan dan kaku, koefisien ekspansi termal sama, *absorber* energi yang baik, konduktivitas rendah. Selain itu, *metal foam* juga memiliki sifat yang elastis dan perilaku deformasi yang khas, kekuatan yang relatif tinggi, dan aplikasi yang dapat diandalkan. Adapun sifat fisis dan *thermal metal foam* dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut ini.

Metal foam pada aplikasi kolektor surya digunakan sebagai alat *absorber* dan alat augmentasi perpindahan kalor. Aplikasi pada kolektor, prinsip kerja dari *metal foam* yaitu *foam* disisipkan pada saluran di antara pelat *absorber* dengan isolator. Terkadang *metal foam* juga digunakan sebagai isolator. Menurut (Chen dan Huang, 2012) bahwa penambahan *metal foam* pada kolektor meningkatkan performa kolektor dibandingkan tanpa penggunaan *foam*. Dalam beberapa implemmentasi teknik augmentasi perpindahan panas, *metal foam* disimulasikan dalam pemodelan variasi radiasi, aliran fluida dan sudut kemiringan (Anirudh and Dhinakaran,

(2020a), Saebodin *et al.*, (2017)). Selain itu, model dari *foam* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor fluida dan efisiensi kolektor. Bentuk *metal foam* yang disisipkan dalam saluran seperti *trapezoidal*, *tringular* (Guerroudj and Kahalerras, 2010), silinder (Valizade, Heyhat and Maerefat, 2020), blok *rectingular* (Anirudh and Dhinakaran, 2020b).

Pengaruh perubahan posisi *metal foam* pada saluran juga berpengaruh pada perpindahan kalor dan efisiensi termal kolektor. Penempatan blok *foam* dengan tinggi dan jarak tertentu serta pengaturan suhu saluran masuk pada laju aliran tertentu akan meningkatkan kinerja kolektor secara umum.

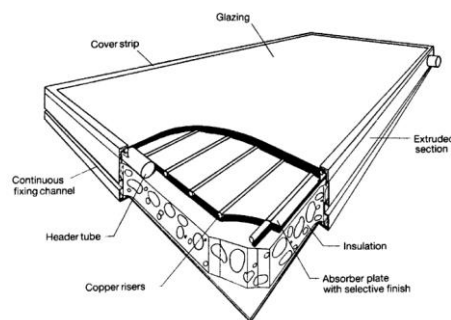
2.4. Kolektor Surya

Bagian utama dari SPATS adalah susunan kolektor surya yang menyerap radiasi surya dan mengubahnya menjadi panas. Panas ini kemudian diserap oleh cairan transfer panas (air, tidak beku, cairan, atau udara) yang melewati kolektor. Panas ini bisa kemudian disimpan atau digunakan secara langsung. Bagian dari energi surya. Kolektor surya adalah alat penukar kalor khusus yang mengubah energi radiasi surya menjadi energi kalor pada media. Fungsi kolektor yaitu menyerap radiasi surya yang masuk, mengubahnya menjadi panas, dan mentransfer panas tersebut ke fluida kerja (udara, air, minyak) yang mengalir. Energi radiasi surya dikumpulkan di kolektor, dimana fluida bersirkulasi secara langsung menjadi air hangat (*hot-water*) atau ke peralatan lain, maupun bersirkulasi secara tidak langsung ke tangki penyimpanan (*storage tank*) yang dapat dimanfaatkan pada malam hari.

Kolektor surya terbagi atas dua kategori, yaitu *non-concentrating istationary* dan *concentrating*. Klasifikasi kolektor menurut arah gerakan yaitu *stationary*, *single axis tracking and two axis tracking* dan *temperature operate*. Berdasarkan posisinya yang tetap (*fixed stationary*), kolektor terbagi menjadi tiga jenis yaitu: *Flat Plate Collector* (FPC), *Compound Parabolic Collector* (CPC) dan *Evacuaged Tube Collector* (ETC) (Kalogirou, 2004).

Flat-Plate Collectors (FPC) Kolektor surya pelat datar tipikal ditunjukkan pada Gambar 2.2. Ketika radiasi surya melewati penutup transparan dan menimpa permukaan absorber menghitam dari tinggi absorptivitas, sebagian besar energi ini

diserap oleh piring dan kemudian dipindahkan ke media transportasi di tabung cairan harus dibawa untuk disimpan atau digunakan. Itu bagian bawah pelat absorber dan sisi casing terisolasi dengan baik untuk mengurangi kerugian konduksi. Tabung cairan dapat dilas ke pelat penyerap, atau bisa juga merupakan bagian integral dari pelat. Tabung cairan dihubungkan di keduanya berakhir dengan tabung header berdiameter besar. Tutup transparan digunakan untuk mengurangi kerugian konveksi dari pelat absorber melalui pengekangan stagnan lapisan udara antara pelat absorber dan kaca. Juga mengurangi kerugian radiasi dari kolektor seperti kaca transparan terhadap radiasi gelombang pendek yang diterima oleh surya tetapi hampir buram untuk radiasi panas gelombang panjang dipancarkan oleh plat penyerap (efek rumah kaca).



Gambar 2.2. *Flat-Plate Collector* (Kalogirou, 2004)

Cover Transparent (Glazing): Satu atau lebih lembaran kaca atau bahan yang dapat mentransmisikan radiasi. *Tubes, Fins, or Passages*: alat penghantar kalor atau pengarah fluida dari sisi masuk ke sisi keluar. *Absorber Plates: flat, corrugate, grooved plate* dihubungkan dengan *tube, fin* atau *pasage*. Pelat hitam bisa diintegrasikan dengan *tube*. *Headers* atau *Manifold*: tempat keluarnya fluida. *Insulation*: untuk meminimalkan *heat-loss* dari bawah dan kolektor. *Container or Casing*: melindungi komponen dari debu, kelembaban dan lain – lain.

2.5. 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.

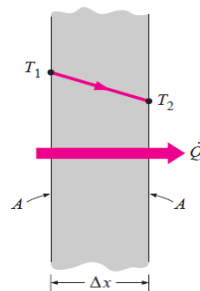
1. Konduksi

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 2.3 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 :

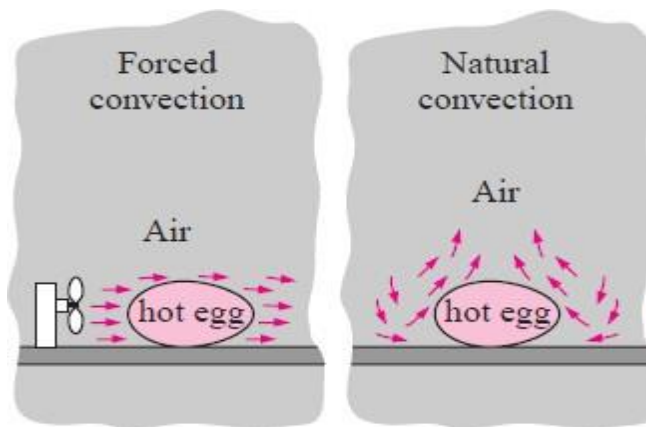
- Q : Banyaknya energi yang dipindahkan (joule)
- k : Konduktivitas benda (W/m.°C)
- ΔT : perbedaan temperatur
- Δx : Ketebalan benda (m)



Gambar 2.3 : Konduksi pada dinding dengan tebal Δx 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 2.4. Pada penelitian kali ini, konveksi terjadi pada lingkungan luar ke pelat



Gambar 2.4 : 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 ($^\circ C$)
- T_∞ : Temperature fluida yang cukup jauh ($^\circ C$)

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 surya dapat mencapai bumi. Sebagai contoh antara dua permukaan seperti yang terlihat pada gambar 2.5.

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].

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

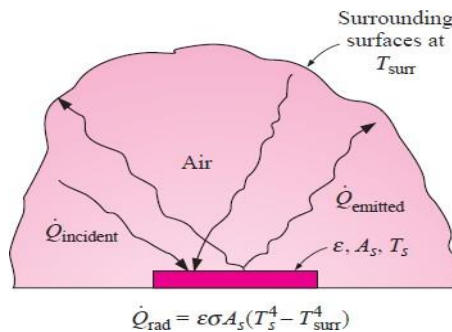
Dimana:

Q : Kalor radiasi yang diserap (joule)

ε : Emisivitas benda

σ : $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T_s : Temperatur permukaan benda (K)



Gambar 2.5 : Perpindahan kalor radiasi antara dua permukaan

2.6. Formulasi Kestimbangan 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 menkonversi 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 :

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

Dimana:

Qn : Panas yang berguna (Watt)

V : Laju Aliran Massa (Kg/s)

ρ : Massa jenis air (Kg)

Cp : Kalor Spesifik air (kJ/kg.K)

T : Temperature ($^{\circ}$ C)

C. Efisiensi teoritis kolektor

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

Dimana:

Qn : Panas yang berguna (Watt)

R : *Illuminance* (kW/m²)

A : Luas Kolektor (m²)

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, (m²/s)
- L : Luas Kolektor (m²)

Bilangan Nusselt

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

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

Dimana:

- Nu : bilangan nusselt
- k : Koefisien konveksi, (W/m.K)
- L : Panjang karakteristik penutup, (m)

B. Koefisien perpindahan panas konveksi antara *aluminium foam* dengan penutup.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara *aluminium foam* dengan penutup (h_1) didekati dengan persamaan [Munahar, 2015],

Bilangan Nusselt, N_u

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

Dimana:

- β : Sudut kemiringan kolektor

Rayleigh Number, Ra

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu \alpha} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- ΔT : beda temperatur antara pelat dengan cover (K)
- L : jarak pelat dengan Penutup, (m)
- α : *thermal diffusivity* (m²/s)

sehingga diperoleh

$$h_{c_{f-c}} = \frac{Nu \times k}{L} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

- Nu : bilangan nusselt

- L : Panjang karakteristik penutup, (m)
- k : Koefisien konveksi, (W/m.K)

C. Koefisien perpindahan panas konveksi antara *aluminium foam* dengan pelat *absorber*

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

Untuk aliran laminer maka:

$$h_{c_{p-f}} = \frac{N \times N_u \times k}{L} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana:

- Nu : bilangan nusselt
- k : Koefisien konveksi, (W/m.K)
- L : Panjang karakteristik penutup, (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:

$$h_{r_{c-a}} = \frac{\sigma \times \epsilon_c \times (T_c^4 - T_s^4)}{(T_c - T_a)} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana:

- ϵ_c : *emisivitas* penutup
- σ : konstanta Stefan-Boltzman, ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-4}$)
- T_a : Temperatur udara luar, (K)
- T_c : Temperatur penutup, (K)

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

$$T_{sky} = 0,0552 \times T_a^{1,5} \dots \dots \dots (15)$$

B. Koefisien perpindahan panas radiasi antara *aluminium foam*-penutup

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

$$h_{r_{f-c}} = \frac{\sigma(T_f^2 + T_c^2)(T_f + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_f} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

ϵ_f : emisivitas *aluminium foam*

ϵ_c : emisivitas penutup

T_f : Temperatur *aluminium foam*, (K)

T_c : Temperatur penutup, (K)

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

A. Koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (U_t). Dari rangkaian termal,

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r_{c-a}}} \dots\dots\dots (17)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{c_{f-c}} + h_{r_{f-c}}} \dots\dots\dots (18)$$

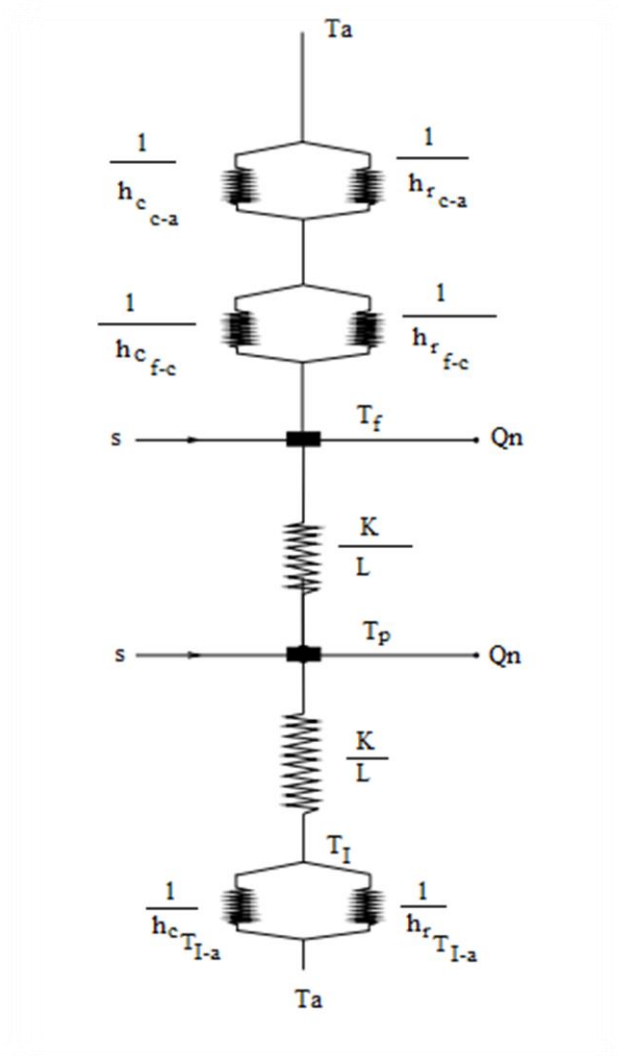
$$U_t = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \dots\dots\dots (19)$$

B. Koefisien perpindahan panas pada bagian bawah kolektor



Gambar 2.6 : Tampak samping bagian bawah panel kolektor foam

$$U_b = \frac{1}{\left[\frac{L_k}{K_k} + \frac{L_f}{K_f} + \frac{1}{h_f} \right]} \dots\dots\dots (20)$$



Gambar 2.7 : jala – jala termal

Koefisien perpindahan panas total kolektor.

$$U_L = U_t + U_b + U_d \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

U_L : Koefisien perpindahan panas total kolektor, (W/m²K)

U_t : Koefisien perpindahan panas atas kolektor, (W/m²K)

U_b : Koefisien perpindahan panas bawah kolektor, (W/m²K)

U_d : Koefisien perpindahan panas dalam kolektor, (W/m²K)