



**DESAIN *FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR* MENGGUNAKAN  
MATERIAL ALUMINIUM (Al) PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK  
PANAS MATAHARI**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu  
(S.T) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



Disusun oleh:

**FATAHILLAH AZHARI KURNIAWAN**

**21901052060**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

**2023**

**DAFTAR ISI**

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>vi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Efek Termoelektrik.....	7
2.2.1 Modul Termoelektrik.....	8
2.2.2 Efisiensi Termoelektrik.....	10
2.3 Perpindahan Panas .....	11
2.3.2 Radiasi .....	13
2.4 Matahari.....	13
2.4.1 Parameter-Parameter Geometri Dalam Radiasi Matahari.....	15
2.4.2 Variasi Radiasi Matahari Yang Masuk Ke Bumi .....	16
2.5 Kolektor Surya .....	16
2.5.1 Kolektor Surya Plat Datar .....	17
2.5.2 Analisa kerugian panas kolektor surya pemanas udara.....	18
2.5.3 Efisiensi kolektor surya pemanas udara.....	23
2.5.4 Efisiensi Keseluruhan Sistem.....	25
2.6 Aluminium.....	26
2.7 Heatsink.....	28
2.8 Listrik .....	31
2.9 Hipotesis .....	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>37</b>
3.1 Metode Penelitian.....	37

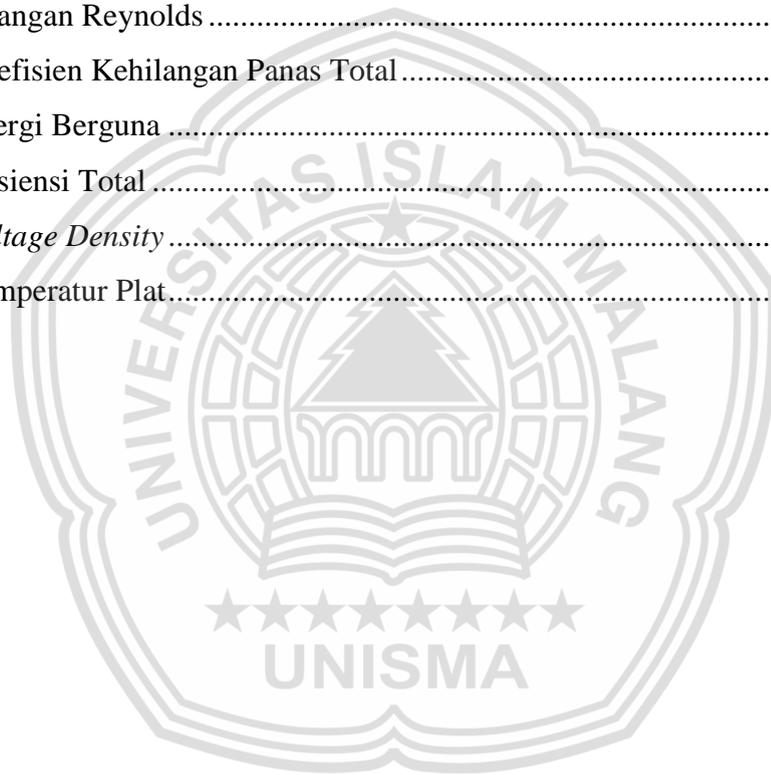
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	37
3.3	Variabel Penelitian .....	37
3.4	Alat dan Bahan yang Digunakan .....	37
3.5	Desain Alat .....	38
3.6	Prosedur Penelitian .....	41
3.6.1	Tahap Pembuatan Alat .....	41
3.6.2	Tahapan Persiapan dan Pemeriksaan Alat Uji .....	41
3.6.3	Ilustrasi Pengambilan Data .....	42
3.6.4	Metode Pengambilan Data .....	43
3.6.5	Rencana Analisis Data .....	44
3.7	Diagram Alir .....	46
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	47
4.2	Contoh Perhitungan .....	48
4.2.1	Analisis Efisiensi Pada Termoelektrik .....	48
4.3	Hasil Analisis .....	54
4.3.1	Temperatur Plat .....	55
4.3.2	Laju Penyerapan Panas .....	56
4.3.3	<i>Voltage Density</i> .....	58
4.3.4	Efisiensi Total .....	59
4.4	Diagram Sankey .....	60
4.5	Tabel Perbandingan Efisiensi Keseluruhan .....	60
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>.....</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>.....</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek seebeck.....	7
Gambar 2.2 Skema Termoelektrik sebagai pembangkit (kiri), Termoelektrik sebagai pendingin (kanan).....	8
Gambar 2.3 Skema Modul Termoelektrik .....	9
Gambar 2.4 Perpindahan panas pada dinding tebal .....	12
Gambar 2.5 Parameter radiasi matahari .....	15
Gambar 2.6 Analisa perpindahan panas pada kolektor .....	17
Gambar 2.7 Kolektor surya pemanas udara dan jaringan termal .....	18
Gambar 2.8 Perpindahan elektron dari atom a ke atom b .....	31
Gambar 3.1 Desain Kolektor Surya .....	38
Gambar 3.2 <i>Heatsink</i> .....	39
Gambar 3.3 Generator Termoelektrik.....	39
Gambar 3.4 Plat Aluminium.....	39
Gambar 3.5 Kaca Penutup.....	40
Gambar 3.6 <i>Indicator Thermometer</i> (Indikator Suhu) .....	40
Gambar 3.7 <i>Fan</i> (Kipas) .....	41
Gambar 3.8 Ilustrasi Pengambilan Data.....	42
Gambar 4.1 Grafik Temperatur Plat.....	55
Gambar 4.2 Grafik Laju Penyerapan Panas .....	56
Gambar 4.3 Grafik <i>Voltage Density</i> .....	58
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Keseluruhan .....	59
Gambar 4.5 Diagram Sankey .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konduktivitas Termal.....	6
Tabel 2. 2 Sifat udara pada 1 ATM.....	19
Tabel 2. 3 Sifat radiasi dari beberapa bahan .....	20
Tabel 3. 1 Tabel Pengambilan Data .....	44
Tabel 4. 1 Data hasil penelelitan dengan jarak 3 cm .....	47
Tabel 4. 2 Data hasil penelelitan dengan jarak 4 cm .....	47
Tabel 4. 3 Data hasil penelelitan dengan jarak 5 cm .....	48
Tabel 4. 4 Bilangan Reynolds .....	51
Tabel 4. 5 Koefisien Kehilangan Panas Total.....	52
Tabel 4. 6 Energi Berguna .....	53
Tabel 4. 7 Efisiensi Total .....	54
Tabel 4. 8 <i>Voltage Density</i> .....	54
Tabel 4. 9 Temperatur Plat.....	54



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
$\alpha$	Koefisien Seebeck	Volt/°C
$\Delta V$	Beda Potensial	V
$\Delta T$	Perbedaan temperatur	°C
$\pi_{AB}$	Koefisien peltier	V
I	Arus listrik	A
$T_h$	Suhu sisi panas	°C
$T_c$	Suhu sisi dingin	°C
ZT	<i>Figure of Merit</i>	
$\alpha$	Koefisien seebeck	V/°C
R	Hambatan listrik	( $\Omega$ )
$\theta$	Hambatan termal	°C/W
$q_{con}$	Laju perpindahan panas konduksi	W/m <sup>2</sup>
$\Delta x$	Jarak/tebal dinding	M
A	Luas dinding	m <sup>2</sup>
K	Konduktivitas termal	W/m.°C
$q_c$	Laju perpindahan panas konveksi	W/m <sup>2</sup>
H	Koefisien perpindahan panas konveksi	W/m <sup>2</sup> °C
A	Luas permukaan	m <sup>2</sup>
$T_s$	Temperatur permukaan	°C
$T_\infty$	Temperatur fluida	°C
$q_{rad}$	Laju Perpindahan Panas Radiasi	W/m <sup>2</sup>
$\sigma$	Konstanta Stefan Boltzman	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>
$T_s^4$	Temperatur Permukaan	°C
$\varepsilon$	Emisitansi Permukaan Kelabu	
$T_{surr}^4$	Temperatur Lingkungan	°C
S	Radiasi matahari yang diserap kolektor	W/m <sup>2</sup>
$\alpha$	Absorpsivitas pelat penyerap	
$\tau$	Transmisivitas penutup	

$I_T$	Radiasi matahari total yang menimpa bidang	W/m <sup>2</sup>
$V_m$	Kecepatan dari fluida	m/s
$D$	Ukuran dari tabung ( <i>Duct</i> )	M
$\nu$	Viskositas kinematik dari fluida	m <sup>2</sup> /s
$Nu$	Bilangan nusselt	
$h_r$	Koefisien perpindahan panas radiasi	W/m <sup>2</sup> .°C
$T_p$	Temperatur pelat	°C
$T_c$	Temperatur kaca	°C
$\varepsilon_c$	Emisivitas kaca	
$\varepsilon_p$	Emisivitas pelat	
$\beta$	Kemiringan kolektor	°
$T_a$	Temperatur sekitar	°C
$h_w$	Koefisien perpindahan panas angin	W/m <sup>2</sup> .°C
$G$	Percepatan Gravitasi	m/s <sup>2</sup>
$L_c^3$	Panjang karakteristik geometri	M
$Pr$	Bilangan pradtll	
$L$	Panjang lintasan	M
$U_b$	Kehilangan panas bawah	Watt
$L$	Ketebalan bahan insulasi	M
$F_R$	<i>Flow factor</i>	
$\dot{m}$	Laju aliran massa fluida	kg/s
$\rho$	Massa jenis	kg/m <sup>3</sup>
$\eta$	Efisiensi Kolektor	%
$Q_u$	Energi Berguna	Watt
$U_L$	Kehilangan panas total	Watt
$T_i$	Temperatur udara masuk kolektor	°C
$T_o$	Temperatur udara keluar kolektor	°C
$C_p$	Panas spesifik	J/kg°C
$q_t$	Laju perpindahan panas total yang dilepas <i>heatsink</i>	Watt
$N$	Jumlah sirip	

$A_t$	Luas total <i>heatsink</i>	$m^2$
$A_f$	Luas penampang sirip	$m^2$
$\theta_b$	Beda suhu dasar dan lingkungan	$^{\circ}C$
$\eta_f$	Efisiensi satu sirip	
$P$	Keliling	M
$P$	Daya Listrik	Watt
$V$	Tegangan Listrik	V



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan era industri 4.0, dimana pada zaman ini masyarakat Indonesia telah hidup berdampingan dan sudah tidak bisa dipisahkan dengan perkembangan kemajuan teknologi yang ada, dimana teknologi yang ada saat ini sebagian besar memerlukan bahan bakar agar dapat terus digunakan (Septiansari et al., 2021). Indonesia masih sangat tergantung pada penggunaan energi fosil. Penggunaan energi fosil di Indonesia mencapai 95% dari kebutuhan energi Indonesia. Sebanyak 50% dari energi fosil yang digunakan di Indonesia bersumber dari minyak. Rendahnya cadangan energi fosil sementara penggunaan energi terus meningkat, maka penggunaan energi baru dan terbarukan menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia (D. Putra et al., 2020).

Kemajuan teknologi saat ini berkembang sangatlah pesat, apapun yang kita lakukan saat ini bergantung dengan teknologi, dan teknologi bergantung dengan energi, semua teknologi yang ada saat ini membutuhkan energi agar terus bisa berfungsi. Semakin bertambahnya penduduk dimuka bumi ini juga berbanding lurus dengan kebutuhan akan energi, sementara itu sumber energi yang selama ini kita pakai sebagian besar bergantung pada energi fosil, yang mana penggunaan energi tersebut mengakibatkan pencemaran udara dan bisa merubah iklim menjadikan pemanasan global.

Pencemaran udara dan pemanasan global menjadi permasalahan yang sangat penting saat ini. Untuk mengurangi dampak global tersebut, para ilmuwan fokus pada perancangan dan mengoptimalkan sistem pemulihan energi baru. Matahari adalah sumber energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik. Indonesia adalah negara yang memiliki garis khatulistiwa yang mana memiliki sinar matahari sepanjang tahun, hal tersebut menjadikan pilihan untuk mengembangkan energi terbarukan (Fakhriansyah *et al.*, 2022). Manfaat pemakaian energi matahari yaitu ramah terhadap lingkungan, tidak menyebabkan polusi, dan tidak menimbulkan limbah. Pemanfaatan energi matahari sudah banyak dilakukan sebagai pembangkit listrik, seperti pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan panel surya dan menggunakan kolektor surya untuk memanfaatkan energi matahari.

Pemanfaatan energi fosil sampai saat ini cukup mengkhawatirkan karena semakin menipisnya sumber energi disamping efek negatif yang ditimbulkannya akibat meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK). Peningkatan GRK akan memicu meningkatnya suhu permukaan dan menciptakan lingkungan tidak kondusif (Septiadi et al., 2009a). Energi surya merupakan energi terbesar di bumi yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Energi ini dimanfaatkan oleh manusia dalam memenuhi kebutuhan yang sangat diperlukan pada masa sekarang dan mendatang (Arfita, 2019). Indonesia berada pada daerah katulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 sampai dengan 12 jam dalam sehari. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi pengembangan dan pemanfaatan energi surya sebagai salah satu dari banyak sistem konversi energi surya, sistem konversi energi surya ini dapat diterapkan untuk mengatasi semakin menipisnya cadangan bahan bakar konvensional yang ada (Dzulfikar & Broto, 2016).

Menurut standard ASHRAE definisi kolektor surya adalah alat yang didesain untuk menyerap radiasi matahari dan mentransfer energi tersebut yang melaluinya (Rianda et al., 2017). Kolektor surya memiliki komponen utama yaitu termoelektrik. Termoelektrik merupakan suatu alat yang berbentuk modul, yang dapat secara langsung mengubah energi panas menjadi energi listrik (Puspita et al., 2017). Teknologi termoelektrik memiliki beberapa keunggulan seperti ramah lingkungan, tahan lama, dan mampu menghasilkan energi dalam skala besar ataupun kecil (Mainil et al., 2020).

Kolektor surya terbagi menjadi 3 jenis yaitu kolektor surya plat datar, kolektor terpusat dan kolektor tabung vakum (Hasim, 2022). Untuk mendapatkan hasil yang optimal permukaan kolektor dicat warna hitam, tujuannya untuk mendapatkan penyerapan radiasi matahari yang optimal (Astawa & Ngurah Putu Tenaya, 2022). Untuk mencegah terjadinya kehilangan panas, maka digunakan kaca penutup yang berfungsi untuk meneruskan radiasi surya dan mencegah panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan pada bagian atas (Arikundo & Hazwi, 2014).

Pada rangkaian sistem kolektor surya, terdapat suatu komponen berupa plat yang berfungsi sebagai penyerap panas matahari dan meneruskan panas tersebut ke termoelektrik. Hal ini mengarah pada perkembangan teknologi termoelektrik dan lebih khusus lagi TEG (Termoelektrik Generator) yang digunakan untuk mengubah

perbedaan suhu di kedua sisi modul menjadi listrik. Beberapa keuntungan dari termoelektrik generator adalah sistem ini tidak memiliki bagian yang bergerak dan sepenuhnya kokoh. Penyerapan yang optimal pada desain *flat plate solar collector* merupakan hal yang penting dalam meningkatkan performa pada konversi energi panas menjadi listrik. Penggunaan TEG pada solar membutuhkan perbedaan suhu yang besar antara material konduktor panas dan juga *heatsink*. Ditambah, proses penyerapan panas secara radiasi dari kaca menuju material konduktor panas dibutuhkan jarak yang optimal untuk dapat menyerap energi panas yang ditransmisikan oleh kaca. Oleh karena itu pada penelitian ini, jarak antara kaca dan konduktor panas divariasikan untuk mendapatkan jarak yang optimal dengan efisiensi yang besar. Untuk material plat yang digunakan oleh peneliti di sini adalah plat aluminium (Al) karena Aluminium merupakan konduktor panas yang baik (Shieddieque et al., 2023). Skripsi ini meneliti tentang pembangkit listrik menggunakan termoelektrik untuk memanfaatkan energi panas matahari dengan alat yang bisa menghasilkan sumber energi listrik terbarukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari indentifikasi masalah di lapangan dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana profil temperatur plat pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium?
2. Bagaimana profil laju penyerapan panas pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium?
3. Bagaimana profil *voltage density* pada sistem desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium?
4. Bagaimana profil efisiensi keseluruhan sistem desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Sumber eneri panas matahari dianggap konstan menggunakan panas dari lampu berdaya 100 watt sebanyak dua buah sebagai sumber panas yang dikumpulkan oleh *flat plate solar collector* menggunakan material aluminium.
2. Menggunakan generator termoelektrik SP1848-27145 SA.

3. Alat termoelektrik generator (TEG) digunakan sebagai konversi panas menjadi listrik.
4. Menggunakan variasi jarak antara plat kolektor dengan kaca 3 cm, 4 cm, 5 cm
5. Menggunakan *fan* dengan kecepatan angin 1,5 m/s
6. Menggunakan rangkaian gabungan seri dan paralel.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui profil temperatur plat pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
2. Untuk mengetahui profil laju penyerapan pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
3. Mengetahui profil *voltage density* pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
4. Mengetahui profil efisiensi keseluruhan sistem pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh informasi temperatur plat pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
2. Memperoleh informasi dan hasil laju penyerapan panas pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
3. Memperoleh informasi tentang *voltage density* pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.
4. Memperoleh informasi efisiensi keseluruhan untuk mengetahui voltase yang dihasilkan pada desain *flat plate solar collector* menggunakan material Aluminium.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Aluminium mempunyai masa jenis  $2,7 \text{ kg/cm}^3$ , titik leleh lebih dari  $658^\circ\text{C}$  dan tidak korosif. Daya hantar aluminium sebesar  $35 \text{ m/ohm mm}^3$  atau kira-kira 61,4% dari daya hantar tembaga, tahanan listriknya sebesar 64,94% hantaran listrik koefisien temperatur yaitu 0,0042 per  $^\circ\text{C}$ . aluminium mudah dibentuk karena lunak, kekuatan tariknya hanya  $9 \text{ km/mm}^3$ . untuk itu jika aluminium digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium (Pradana, 2014).

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh (Andrapica et al., 2017) menyimpulkan bahwa semakin banyak jumlah modul *thermoelectric* yang digunakan saat pengujian, maka daya yang dihasilkan akan meningkat. Selisih daya maksimum yang dihasilkan antara modul TEC 12706 dan modul TEG SP 1848 adalah berkisar 0,2 W. Daya maksimum yang dihasilkan dengan laju aliran air 16,6 liter/menit dengan menggunakan modul TEC 12706 pada pengujian 1,2,3 dan 4 modul thermoelectric adalah sebesar 0,007 W, 0,018 W, 0,061 W, dan 0,105 W.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Pradana, 2014) menghasilkan output tegangan listrik yang didapatkan paling tinggi ketika menggunakan plat penghantar panas Aluminium dengan ketebalan 1mm dengan merangkai TEG secara seri dengan menggunakan air ice, didapatkan 9,2 Volt pada hari ke-10, Selanjutnya menggunakan plat seng dengan rangkaian seri TEG didapatkan 3,56 Volt pada hari ke-1, dan yang terakhir menggunakan plat aluminium dengan rangkaian seri TEG didapatkan 2,95 Volt pada hari ke-5 dengan suhu rata-rata yang dihasilkan oleh TEG ialah  $53,53^\circ\text{C}$  selama masa pengujian 10 hari. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa rangkaian yang menghasilkan *output* tegangan listrik paling besar adalah rangkaian seri, yaitu 9,2 volt 3,56 volt, dan 2,95 volt.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Ekadewi Anggraini Handoyo, 2001) memiliki kesimpulan bahwa panas yang diserap plat atau temperatur plat tertinggi jika jarak kaca ke plat = 20 mm. Temperatur lingkungan dan kecepatan angin jika cuaca cerah tidak mempengaruhi panas yang diserat plat. Jenis kaca yang paling tepat digunakan adalah kaca bening dengan tebal 3 mm.

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh (Dedy A. Bara et al., 2016) yang berjudul “Pengaruh Tebal Kaca Penutup terhadap Efisiensi Kolektor Surya Plat Gelombang Tipe V pada Proses Destilasi Air Laut” dimana dari hasil penelitian terlihat bahwa efisiensi kolektor dan jumlah air destilasi yang dihasilkan pada ketebalan kaca 3 mm, 5 mm dan 8 mm mengalami penurunan secara bersamaan dengan efisiensi kolektor tertinggi pada ketebalan kaca penutup 3 mm dengan nilai rata-rata sebesar 47,45% dan efisiensi terendah terjadi pada ketebalan kaca penutup 8 mm dengan nilai rata-rata 40,65 %. Sedangkan jumlah air destilasi terbesar pada ketebalan kaca penutup 3 mm dengan nilai rata-rata sebesar 16,93 mL dan jumlah air terkecil pada ketebalan kaca 8 mm dengan nilai rata-rata sebesar 11,13 ml. Akibatnya efisiensi rata-rata destilasi terbesar terjadi pada ketebalan kaca 3 mm sebesar 13,95%, sedangkan efisiensi rata-rata destilasi terendah terjadi pada ketebalan kaca 5 mm sebesar 8,86%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Pertiwi et al., 2015) menyajikan sebuah tabel konduktivitas termal dari beberapa macam material seperti berikut :

Tabel 2.1 Tabel Konduktivitas Termal

BAHAN	Konduktivitas termal(k) W/M °C
<b>Logam</b>	
Aluminium (murni)	202
Perak (murni)	410
Tembaga(murni)	385
Timbal (murni)	35
Nikel(murni)	93
Baja krom nikel(18%Cr,8%Ni)	16.3
Baja karbon.1%C	43
Besi (murni)	73
<b>Bukan logam</b>	
Magnesit	4.15
Kayu. maple atau ek	0.17
Kaca. jendela	0.78

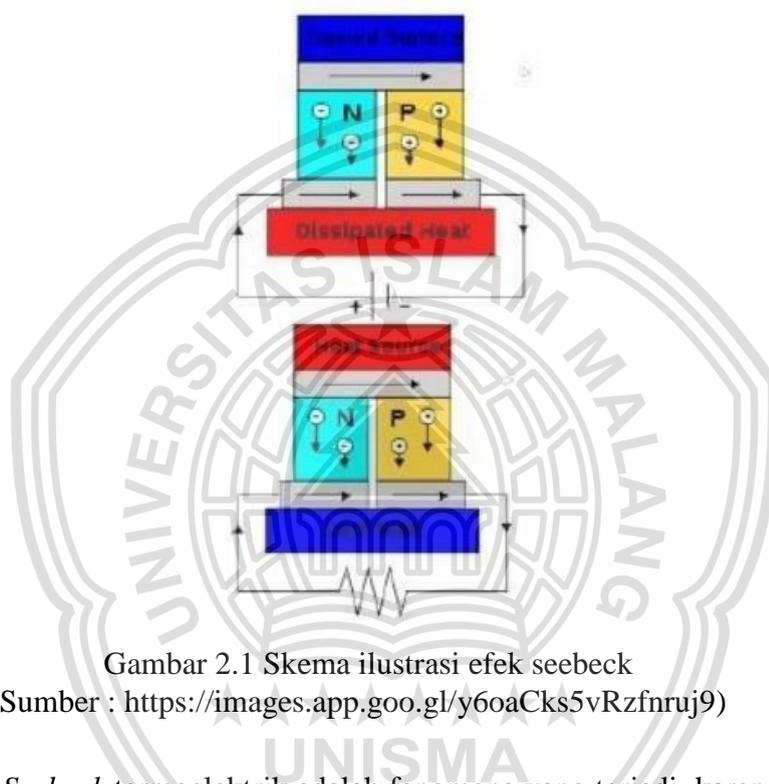
(Sumber : Puji Kumala Pertiwi, *et. al* (2015))

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas termal dari material aluminium menunjukkan angka 202 W/m°C , dimana nilai ini merupakan nilai yang sangat baik dalam hal penyerapan panas.

## 2.2 Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik adalah sebuah fenomena dari proses konversi energi panas menjadi energi listrik ataupun sebaliknya (Sugiyanto, 2014) yang di mana ketika adanya proses perpindahan panas searah maka tercipta gerak gaya listrik (GGL) dan tidak dapat kembali menjadi energi panas atau disebut proses tak mampu balik (A. P. Putra et al., 2018). Efek termoelektrik dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan fenomena yang terjadi (Latif et al., 2015).

Efek *Seebeck*



Gambar 2.1 Skema ilustrasi efek seebeck  
 (Sumber : <https://images.app.goo.gl/y6oaCks5vRzfnruj9>)

Efek *Seebeck* termoelektrik adalah fenomena yang terjadi karena adanya peristiwa pengnonversian energi panas menjadi energi listrik karena adanya perbedaan temperatur suatu material. Efek *Seebeck* menjelaskan bahwa GGL muncul di dua buah material yang berbeda jika dirangkai menjadi satu dan pada setiap ujungnya diletakkan dengan suhu yang berbeda maka terciptalah arus listrik di rangkaian tersebut (A. P. Putra et al., 2018). Termoelektrik menghasilkan listrik dari energi yang melintasinya dan terciptanya gradient suhu antara panas dan dingin, maka semakin besar suhu maka semakin besar pula tegangan tegangan yang dihasilkan, efek inilah yang biasa dimanfaatkan dalam termoelektrik generator (Allen et al., 2002).

Untuk melihat koefisien pada fenomena ini bisa dilakukan dengan persamaan (Allen et al., 2002).

Dimana :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

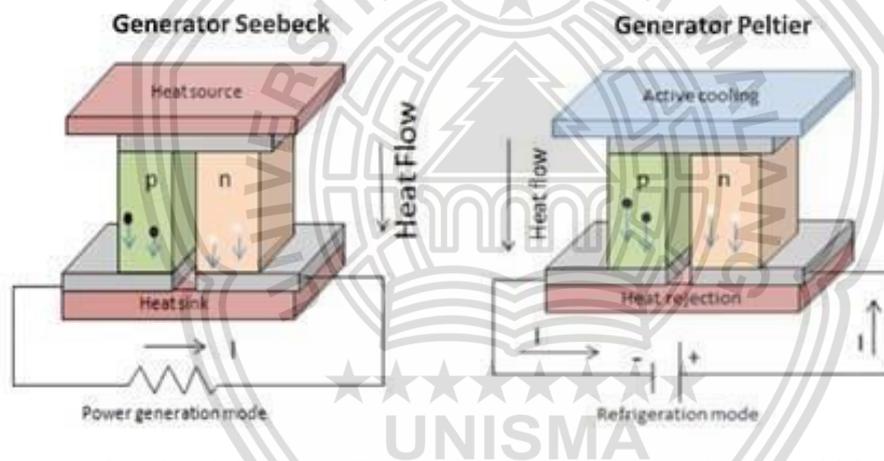
$\alpha$  = Koefisien *Seebeck* (V/°C)

$\Delta V$  = Beda potensial (V)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur (°C)

### 2.2.1 Modul Termoelektrik

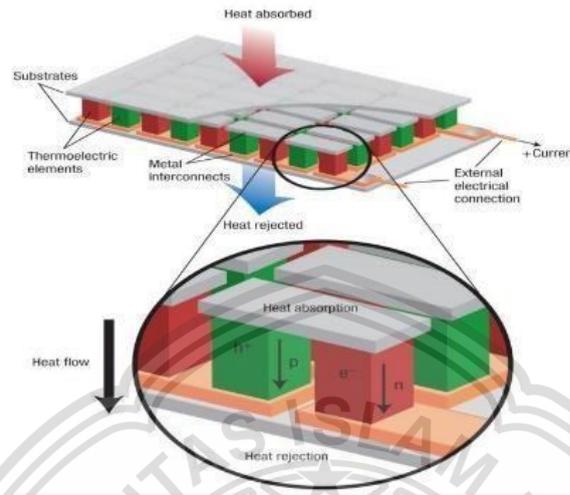
Modul termoelektrik adalah sebuah perangkat yang bersifat *solid state* atau tidak mengandung bagian yang bergerak dan tidak bersuara sama (Allen et al., 2002).. Modul termoelektrik menggunakan 3 efek termoelektrik yang terintegrasi pada sirkuit yang memiliki bentuk seperti *sandwich* antara dua keramik (Trianto et al., 2009).



Gambar 2.2 Skema Termoelektrik sebagai pembangkit (kiri),  
 Termoelektrik sebagai pendingin (kanan)  
 (Sumber: <https://images.app.goo.gl/CwfZBcaXEEmKEE857>)

Modul termoelektrik menggunakan prinsip fisika yang berguna secara langsung untuk mengubah panas menjadi listrik atau sebaliknya berdasarkan fenomena pembawa muatan dalam zat padat. Listrik terjadi ketika adanya perbedaan suhu pada zat padat karena adanya pertukaran pembawa muatan dalam material, fenomena ini biasa disebut efek seebeck. Fenomena sebaliknya yang dimana perbedaan suhu dibuat melintasi material oleh arus listrik karena adanya pendinginan atau pemanasan pada salah satu sisi atau yang biasanya disebut efek peltier. Kedua efek ini bisa disbanding mesin digunakan untuk pembangkit listrik dan pendinginan melalui konversi energi termal atau sebaliknya (Kang et al., 2015)

Termoelektrik berbentuk modul yang terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun dengan komposisi mempunyai kelebihan electron bebas (semikonduktor tipe n) dan yang mempunyai kekurangan elektron (semikonduktor tipe p) isolasi listrik dan dua substratkeramik sebagai fondasi pembentuk modul (Riffat dan ma, 2002).



Gambar 2.3 Skema Modul Termoelektrik  
 (Sumber: <https://images.app.goo.gl/56CWty4gs3zRBuhPA>)

Dalam penggunaan modul termoelektrik sebagai pembangkit listrik mempunyai jumlah maksimum energi yang bisa digunakan, jumlah energi inilah yang disebut efisien karnot. Pembangkit daya termoelektrik mempunyai efisiensi karnot yang paling rendah di antara yang lainnya yaitu sebesar 5-8% dibanding mesin diesel yang mempunyai efisiensi karnot sebesar 30% dan *power chip* sebesar 70-80%. Modul termoelektrik mampu menghasilkan energi listrik arus searah (DC) ketika adanya perbedaan temperatur dari kedua sisinya (Kamaludin dan Wiranda, 2021)

Secara umum termoelektrik generator yang beredar menggunakan tiga material semikonduktor yang terbagi berdasarkan temperatur kerjanya. *Silicon germanium* adalah material yang memiliki daya serap panas tinggi yang berkisar antara 750°C sampai 1000°C, Material inilah yang mempunyai beda potensial terbesar dari pada kedua bahan lainnya, *lead telluride* adalah material performa daya serapannya berada di kisaran antara 400°C sampai 650°C, *bismuth telluride alloys* adalah material yang performanya paling bawah di antara tiga material yang mempunyai daya serap panas 350°C. Material *bismuth telluride* yang sering digunakan sebagai bahan semikonduktor yang telah diolah menjadi elemen yang memiliki karakteristik yang berbeda yaitu tipe p dan tipe n (Plutzer, 2021)

### 2.2.2 Efisiensi Termoelektrik

Efisiensi termoelektrik adalah parameter untuk mengetahui seberapa besar daya guna dari sebuah perangkat Termoelektrik Generator (TEG). Efisiensi termoelektrik sangat bergantung pada perbedaan suhu pada  $\Delta T = T_h - T_c$  di seluruh modul termoelektrik. Efisiensi pada termoelektrik sendiri bisa dihitung menggunakan persamaan (Snyder, 2008). Efisiensi termoelektrik mengacu pada kemampuan suatu sistem termoelektrik untuk mengubah perbedaan suhu menjadi energi listrik dengan tingkat konversi yang tinggi. Ini diukur dengan perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dengan panas yang dihasilkan oleh perbedaan suhu tersebut. Semakin tinggi efisiensi termoelektrik, semakin efisien sistem dalam mengubah panas menjadi energi listrik.

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + T_c/T_h}$$

Dimana :

$\Delta T$  = Perbedaan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_h$  = Suhu sisi panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  = Suhu sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$ZT$  = *Figure of Merit*

*Figure of Merit* sendiri adalah parameter untuk mengetahui seberapa baik bahan termoelektrik dalam menghantarkan listrik dan menahan panas secara terus menerus (A. P. Putra et al., 2018). Dimana untuk mencari *Figure of Merit* bisa menggunakan persamaan (Purba et al., 2019)

$$Z = \frac{\alpha^2 \theta}{R}$$

Dimana :

$Z$  = *Figure of Merit*

$\alpha$  = Koefisien Seebeck ( $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ )

$R$  = Hambatan Listrik ( $\Omega$ )

$\theta$  = Hambatan termal ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

Dimana untuk mengukur hambatan panas dan hambatan listrik bisa menggunakan persamaan (Purba et al., 2019).

$$R = \frac{V}{I} \cdot \frac{(T_h - \Delta T)}{T_h}$$

$$\theta = \frac{\Delta T}{I \cdot V} \cdot \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T)}$$

Dimana :

R = Hambatan listrik ( $\Omega$ )

$\theta$  = Hambatan termal ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

I = Arus (A)

V = Tegangan yang dihasilkan TEG (V)

$T_h$  = Suhu pada sisi panas

$\Delta T$  = Perbedaan suhu pada sisi dingin dan suhu panas pada TEG ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang terjadi pada benda ataupun material yang mempunyai suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah hingga mencapai kesetimbangan energi. Yang dimana jika dua sistem yang mencapai suhu yang berbeda disandingkan maka akan terjadi perpindahan energi, energi ini berpindah dikarenakan adanya perbedaan kedua temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah, maka ilmu perpindahan panas merupakan ilmu yang berfungsi untuk memberikan gambaran energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu. Ilmu perpindahan panas yang diketahui ada tiga cara perpindahan (Hendrawan et al., 2022). Perpindahan panas adalah proses alami di mana panas berpindah dari suatu benda atau sistem yang memiliki suhu lebih tinggi ke benda atau sistem yang memiliki suhu lebih rendah. Tujuan dari perpindahan panas adalah mencapai keseimbangan termal antara dua benda atau sistem dengan suhu yang berbeda. Berikut contoh peristiwa perpindahan panas :

#### 1. Pendinginan Laptop:

Ketika Anda menggunakan laptop dalam waktu yang lama, komponen-komponen di dalamnya menghasilkan panas. Untuk mencegah overheating, laptop dilengkapi dengan sistem perpindahan panas, seperti heatsink dan kipas pendingin, yang membantu mengalirkan panas dari komponen-komponen tersebut ke udara di sekitarnya.

#### 2. Panas Matahari:

Matahari menghasilkan panas yang mencapai bumi melalui radiasi. Ketika sinar matahari mencapai permukaan bumi, panasnya diserap oleh benda-

benda di permukaan, seperti tanah, air, atau bangunan, dan kemudian ditransfer ke udara di sekitarnya melalui konveksi dan konduksi.

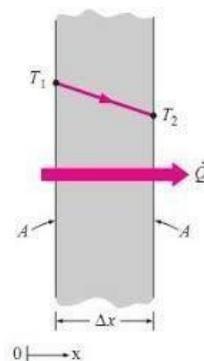
### 3. Pemanasan Ruangan:

Saat anda menyalakan pemanas dalam ruangan, pemanas tersebut menghasilkan panas yang ditransfer ke udara di sekitarnya. Udara yang lebih hangat menjadi lebih ringan dan naik, sementara udara yang lebih dingin turun. Proses ini menghasilkan sirkulasi udara yang membantu menyebarkan panas ke seluruh ruangan.

Perpindahan panas adalah fenomena yang fundamental dalam memahami berbagai proses fisika yang terjadi di sekitar kita, mulai dari masak memasak hingga fenomena cuaca global.

#### 2.3.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses dimana panas mengalir di daerah yang mempunyai suhu tinggi ke daerah yang mempunyai suhu yang relatif rendah dalam suatu media baik padat, cair maupun gas. Perpindahan panas energi dapat terjadi dengan tumbukan elastis (*elastic impact*) yang terjadi pada fluida ataupun dengan pembauran (*diffuion*) yang terjadi pada logam. Contoh peristiwa konduksi adalah ketika anda memasak makanan di atas kompor, panas dari kompor berpindah ke panci atau wajan, memanaskan makanan. Dimana ini bisa terjadi karena adanya atom yang berada di sisi panas memiliki rata-rata energi kinetik yang lebih besar dari pada sisi dingin yang dimana atom di sisi panas memindahkan sebagian energinya ke atom lainnya yang berada di dekatnya sampai sepanjang bahan tersebut, yang dimana yang hanya terjadi ketika adanya perbedaan suhu di antara benda tersebut. (Cengel, 2002).



Gambar 2.4 Perpindahan panas pada dinding tebal  
 (Sumber: <https://images.app.goo.gl/vKKfqxXm3kXFzxp7>)  
 Kecepatan konduksi panas tergantung pada ketebalan, bahan dan suhu yang

melintasi media. Persamaan dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum fourier yang dinyatakan (cengel, 2002).

$$q_{com} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Dimana:

$q_{com}$  = laju perpindahan panas konduksi (W/m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = perbedaan suhu (°C)

$\Delta x$  = jarak /tebal dinding (M)

A = luas dinding (m<sup>2</sup>)

K = konduktivitas termal (W/m.°C)

### 2.3.2 Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (*foton*). Perpindahan panas tidak butuh adanya perantara dan memiliki kecepatan cahaya dan tidak mengalami plemahan pada ruang hampa.

Dasar hukum yang digunakan dalam perpindahan panas radiasi adalah hukum Stefan boltzman (Cengel, 2002).

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{surr}^4)$$

Dimana:

$A_s$  = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$q_{rad}$  = Laju perpindahan panas radiasi (W/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Konsultanta Stefan boltzman (5,669x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

$T_s^4$  = Temperatur permukaan (°C)

$T_{surr}^4$  = Temperatur lingkungan (°C)

$\varepsilon$  = Emisivitas

### 2.4 Matahari

Matahari adalah penggerak utama kehidupan, baik posisinya terhadap bumimaupun radiasi cahaya yang sampai ke bumi. Energi matahari yang sampai ke bumi dalam satu jam dapat memenuhi kebutuhan energi manusia dalam satu tahun walaupun matahari terletak berjuta-juta kilometer. Total radiasi matahari yang diterima oleh bumi disebabkan oleh 4 faktor yaitu jarak, intensitas radiasi matahari, panjang hari, dan pengaruh atmosfer (Silitonga dan Ibrahim, 2020).

Matahari berbentuk bola yang sangat besar dengan diameter  $1.39 \times 10^6$  km yang mengandung 80%  $H_2$  dan 19 % He. Temperatur pada kulit luar matahari sebesar  $5760^\circ K$  dan temperatur pusat diperkirakan sebesar  $20 \times 10^6^\circ K$ . jarak antar bumi terdekat terjadi pada 21 Desember pada jarak  $1.45 \times 10^8$  km dan yang terjauh  $1.49 \times 10^8$  km pada tanggal 22 juni, sedangkan rata-rata jarak bumi ke matahari sekitar  $1.47 \times 10^8$  km (Himran, 2021).

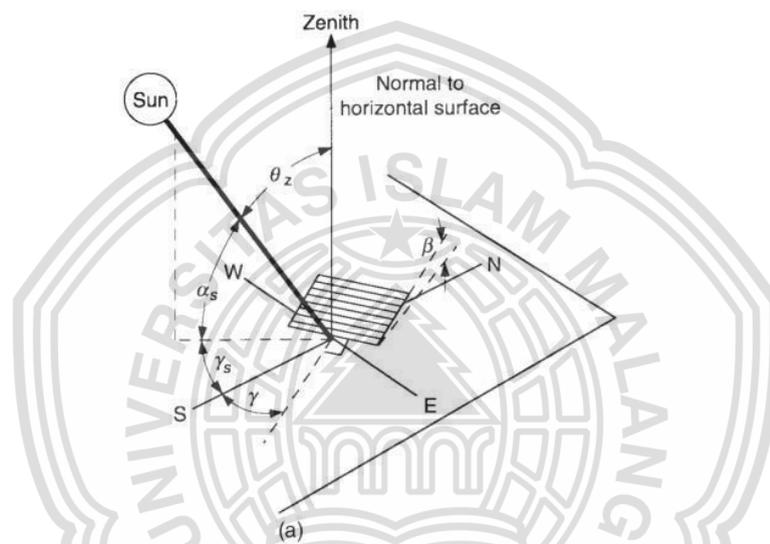
Dalam sehari terjadi siklus keseimbangan energi yang dimana terjadi proses penyerapan dan pemantulan oleh berbagai gas dan partikel yang ada di atmosfer yang menyebabkan temperatur atmosfer naik dan sebagian sinar dipantulkan kembali ke ruang angkasa sedangkan sinar matahari yang sampai ke bumi di serap oleh tanah, air material yang ada di bumi yang menyebabkan naiknya temperatur bumi dan pada malam hari sebagian energi yang sudah diserap bumi dilepaskan kembali ke atmosfer dan ruang angkasa (Soeparman, 2015).

Radiasi surya merupakan energi yang dikeluarkan oleh matahari yang berbentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai besaran yang tetap (konstan)(A. E. Putra et al., 2019). Posisi matahari dan letak wilayah mempengaruhi potensi energi surya pada suatu wilayah yang dimana potensi ini bisa tergantung dari kondisi atmosfer dan tempat (garis lintang) serta waktu (haridalam tahun dan jam dalam hari) (Septiadi et al., 2009) Potensi energi surya di Indonesia sendiri cukup besar yakni sekitar  $4,8 \text{ KWh/m}^2$  atau setara dengan 112.000 GWp namun baru dimanfaatkan sekitar 10 MWp (BMKG, 2012).

Energi termalnya bisa dimanfaatkan untuk menjadi listrik yang cahayanya dikonsentrasikan dan ditangkap panasnya menggunakan kolektor surya. Pemanfaatan energi termal matahari bisa dimanfaatkan untuk menjadi listrik maupun untuk memasak dengan kompor surya, distilasi, pengeringan, dan sebagainya. Pemanfaatan energi surya bisa dikelompokkan menjadi dua yaitu pemanfaatan secara aktif dan pemanfaatan secara pasif, yang dimana pemanfaatan secara pasif banyak dimanfaatkan di daerah yang mempunyai empat musim yang bertujuan untuk mengumpulkan panas matahari pada musim dingin dan memblokirnya saat musim panas. Sedangkan pemanfaatan secara aktif dilakukan dengan cara memusatkan sinar matahari guna mendapatkan panas yang tinggi. (Budiarto, 2011).

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dilihat dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi matahari di Indonesia dapat diklasifikasikan sebagai berikut, untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di kawasan barat Indonesia sekitar 4,5 kwh/m<sup>2</sup> per hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi energi matahari rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kwh/m<sup>2</sup> per hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, dengan rata-rata waktu panas matahari yang paling efektif 7 jam per hari di Indonesia (Usman, 2018).

#### 2.4.1 Parameter-Parameter Geometri Dalam Radiasi Matahari



Gambar 2.5 Parameter radiasi matahari  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/QakpdvaqpSsxDb6r5>)

Menurut John A. Duffie dan William A. Beckmen ada beberapa parameter yaitu :

- Garis Lintang / *Latitude* ( $\phi$ ) adalah sudut lokasi suatu tempat di muka bumi yang berada di utara atau selatan dari garis ekuator, jika berada di bagian utara maka bernilai positif dan bagian selatan bernilai negatif ( $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ ) (Duffie dan Beckmen, 2013).
- Deklinasi  $\delta$  adalah sudut posisi matahari pada saat siang hari (*solar noon*) dengan proyeksinya pada bidang ekuator pada saat matahari pada bujur local, bagian utara positif dan bagian selatan negatif.
- Menurut (Wahyu Maulana et al., 2023) dalam (Duffie dan Beckman, 2013) menjelaskan bahwa kemiringan bidang/*slope*  $\beta$  adalah sudut antara permukaan bidang tertentu dengan bidang horizontal ( $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ) jika  $\beta > 90^\circ$  berarti

permukaanbidang menghadap ke bawah. Jika untuk sudut kemiringannya  $90^\circ$  memakai rumus sudut datang dan untuk permukaan horizontal, sudut datang menjadi sudut zenith matahari yang diman nilainya harus di antara  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ .

- Sudut Azimuth Permukaan  $\gamma$  adalah sudut antara proyeksi pada bidang horizontal normal ke permukaan dari meridian local (Duffie dan Beckmen, 2013).
- Sudut jam  $\omega$  adalah pergeseran sudut matahari ke arah timur/barat dari garis bujur lokal akibat adanya rotasi bumi pada porosnya  $15^\circ$  per jam, jika pagi positif dan sore negatif.
- Sudut Datang  $\theta$  adalah sudut antara radiasi langsung dari matahari terhadap garis normal bidang permukaan (Duffie dan Beckmen).
- Sudut Zenith  $\theta_z$  adalah sudut antara radiasi langsung dengan bidang horizontal (Duffie dan Beckmen, 2013).
- Sudut ketinggian matahari/*Altitude* matahari adalah sudut antara radiasi langsung dengan bidang horizontal (Duffie dan Beckmen, 2013).

#### 2.4.2 Variasi Radiasi Matahari Yang Masuk Ke Bumi

Secara umum radiasi yang masuk ke bumi terdiri dari tiga cara yakni radiasi langsung, radiasi baur, dan radiasi pantulan (Kurnia, 2021)

- Radiasi langsung

Radiasi langsung adalah radiasi matahari yang diterima dari matahari tanpa dihamburkan oleh atmosfer (Duffie dan Beckmen, 2013).

- Radiasi hambur

Radiasi hambur adalah radiasi matahari yang diterima dari matahari setelah arahnya dirubah oleh hamburan oleh atmosfer (Duffie dan Beckmen, 2013).

- Radiasi pantulan

Radiasi pantulan adalah radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi. Radiasi yang pantulannya bergantung pada reflektansi atau albeldo ( $\alpha$ ) dari permukaan yang berdekatan (Hafidz, 2015).

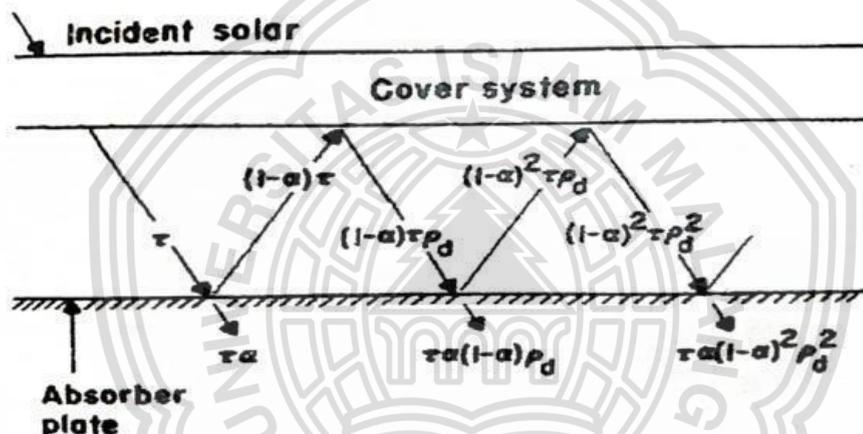
#### 2.5 Kolektor Surya

Kolektor surya adalah sebuah sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai

sumber panas utama. Kolektor surya bekerja ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya dan diserap dan dikonversikan menjadi energi panas yang bisa dimanfaatkan menjadi berbagai aplikasi. Kolektor surya terbagi menjadi 3 jenis yaitu kolektor surya plat datar, kolektor terpusat dan kolektor tabung vakum (Hasim, 2022).

### 2.5.1 Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya plat datar adalah kolektor surya yang mudah dan sederhana penggunaannya. Kolektor surya jenis ini digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir di dalamnya, dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi panas.



Gambar 2.6 Analisa perpindahan panas pada kolektor dengan suatu kaca penutup  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/QakpdvaqpSsxDb6r5>)

Total energi panas yang diserap oleh kolektor bisa dihitung ketika penutup atas (kaca) menerima sinar radiasi matahari yang kemudian diteruskan menuju plat penyerap panas. Gambar 2.6 menjelaskan bahwa  $(\tau)$  transmissivitas dari penutup dan  $(a)$  absorpsivitas dari plat dimana ketika energi panas yang menimpakolektor  $\tau a$  akan diserap plat energi sebesar  $(1-a)\tau$  akan dipantulkan kembali ke arah penutup. Pantulan dari plat penyerap ini disebut sebagai radiasi hambur, sehingga  $(1-a)\tau$  yang mengenai penutup merupakan radiasi hambur, dan  $(1-a)\tau\rho_d$  dipantulkan lagi menuju plat sehingga terjadi proses pemantulan yang terulang. Sehingga energi yang dapat diserap oleh permukaan plat bisa menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$S = (\tau\alpha)_{ave} \cdot I_T = 1,01 \cdot \tau\alpha \cdot I_T$$

Dimana :

$S$  = Radiasi matahari yang diserap kolektor ( $W/m^3$ )

$\alpha$  = Absorpsivitas plat penyerapan

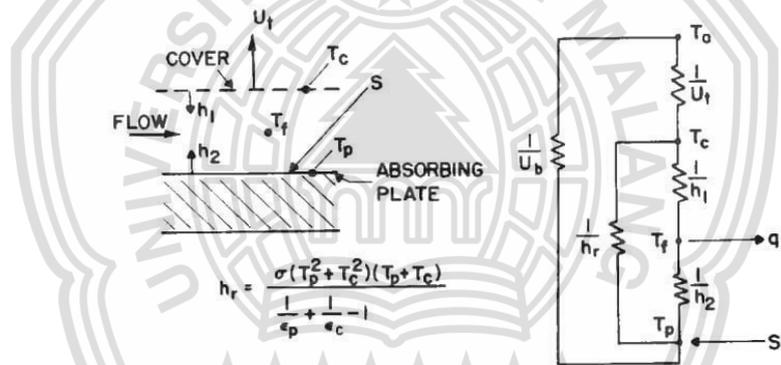
$\tau$  = Transmisivitas penutup

$I_T$  = Radiasi matahari total yang menimpa bidang ( $W/m^2$ )

### 2.5.2 Analisa kerugian panas kolektor surya pemanas udara

Panas yang diserap oleh plat absorber ( $S$ ) tidak semua panas yang dapat dirubah menjadi energi berguna, karena plat absorber menyerap radiasi yang sesuai prinsip kesetimbangan energi maka akan ada pulakerugian panas yang terjadi (Duffie dan Beckman, 2013).

#### 2.5.2.1 Koefisien kehilangan panas



Gambar 2.7 Kolektor surya pemanas udara dan jaringan termal  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/8gbAKrqaG8x8MbDw8> )

Dimana koefisien kehilangan panas total  $U_L$  adalah penjumlahan koefisien kerugian atas dan koefisien kerugian bawah untuk mencari koefisien kehilangan panas bisa menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$U_L = \frac{(U_b + U_t) + (h_1 h_2 + h_2 h_r) + U_b + U_t (h_1 h_2)}{h_1 h_r + h_2 + U_t + h_2 h_r + h_1 + h_2}$$

$U_L$  = Koefisien kehilangan panas total

$U_t$  = Koefisien kehilangan panas atas

$U_b$  = Koefisien kehilangan panas bawah

$h_1$  = Koefisien perpindahan panas pada kaca penutup

$h_2$  = Koefisien perpindahan panas pada plat

$h_r$  = Koefisien perpindahan radiasi

Untuk mencari koefisien panas konveksi yang terjadi pada  $h_1$  dan  $h_2$  bisa dicari menggunakan bilangan *Reynolds* pada saluran menggunakan persamaan (Cengel, 2002).

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{m,D}}{\mu} = \frac{V_{m,D}}{\nu}$$

Dimana :

$V_m$  = Kecepatan dari fluida (m/s)

$\nu$  = Viskositas kinematic dari fluida (m<sup>2</sup>/s)

$D$  = Ukuran dari tabung atau saluran (m)

Dimana untuk mencari diameter dalam saluran persegi panjang bisa menggunakan persamaan (Cengel, 2002).

$$D_h = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2(a+b)} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b}$$

Jika aliran dalam saluran adalah laminar ( $Re < 2300$ ) bisa menggunakan persamaan (Cimbala, 2014).

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065(D/L)RePr}{1 + 0,04[(D/L)RePr]}$$

Jika aliran dalam saluran adalah turbulen ( $Re > 4000$ ) bisa menggunakan persamaan (Cimbala, 2014).

$$Nu = 0,023 Re^{0,88} Pr^n$$

Dimana  $n=0,4$  untuk pemanasan dan  $0,3$  untuk pendinginan jika sudah menemukan bilangan nusseltnya bisa mencari koefisien konveksi ( $h$ ).

Tabel 2.2 Sifat udara pada 1 ATM

Temperatur	Kepadatan	Panas Spesifik	Konduktivitas termal	Viskositas Kinematik	Nomor pradt
30	1,164	1007	0,02588	$1,608 \times 10^{-5}$	0,7282
35	1,145	1007	0,02625	$1,655 \times 10^{-5}$	0,7268
40	1,127	1007	0,02662	$1,702 \times 10^{-5}$	0,7255
45	1,109	1007	0,02699	$1,750 \times 10^{-5}$	0,7241
50	1,092	1007	0,02735	$1,798 \times 10^{-5}$	0,7228

Sumber : Cengel, 2022

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

Dimana :

- k = Konduktivitas termal fluida (W/m°K)  
 D = Diameter saluran atau tabung (m)  
 Nu = Bilangan nusselt

Sedangkan  $h_r$  adalah koefisien perpindahan panas radiasi yang bisa dicari menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013)

$$h_r = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

Dimana :

- $\sigma$  = Konstanta stefen boltzman  
 $T_p$  = Temperatur plat (°C)  
 $T_c$  = Temperatur kaca (°C)  
 $\varepsilon_g$  = Emisivitas kaca (°C)  
 $\varepsilon_p$  = Emisivitas plat (°C)

Dimana Emisivitas plat dan kaca maka bisa dilihat pada tabel sifat radiasibeberapa bahan di bawah.

Tabel 2.3 Sifat radiasi dari beberapa bahan

Deskripsi/komposisi	Solar absorptivity ( $\alpha_s$ )	Emisivity, $\varepsilon$ , at 300 K	Ratio ( $\alpha_s/\varepsilon$ )	Solar transmissivity, $r_s$
Kaca, ketebalan 3,2mm				
Float atau tempered		0,90		0,79
Low iron oxide				0,88
Cat				
Hitam (parson)	0,98	0,98	1.0	
Putih, akrilik	0,26	0,90	0,29	
Putih, aluminiumoksida	0,16	0,93	0,17	

Sumber : Cengel, 2002

Sedangkan untuk mencari koefisien kehilangan panas atas bisa menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$U_t = \left( \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm^2} + T_{pm^2})}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,00591 N h_w} + \frac{2N + f - 1 + 0,133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N}$$

Dimana :

- N = Jumlah kaca
- f =  $(1 + 0,089 h_w - 0,1166 h_w \varepsilon_p)(1 + 0,07866 N)$
- C =  $520(1 - 0,000051\beta^2)$
- e =  $0,430(1 - 100/T_{pm})$
- $\varepsilon_g$  = Emisivitas kaca
- $\varepsilon_p$  = Emisivitas plat
- $T_a$  = Temperatur sekitar (C°)
- $T_{pm}$  = Temperatur plat (C°)
- $h_w$  = Koefisien perpindahan panas angina (W/m<sup>2</sup>.°K)

Sedangkan untuk menghitung besarnya perpindahan panas konveksi angin, bisa dicari dengan bilangan *Nusselt* setelah mendapatkan bilangan *Rayleigh* dari hasil perkalian bilangan *Grashof* dan *Prandtl*.

$$Ra_L = Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_C^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

Dimana :

- g = Percepatan gravitasi = 9,8 m/s<sup>2</sup>
- $T_s$  = Suhu permukaan (°C)
- $T_\infty$  = Suhu fluida (°C)
- $\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)
- $\beta$  = Koefisien muai panas, 1/K ( $\beta=1/T$  untuk gas ideal)
- $L^3$  = Panjang karakteristik geometri (m)
- Pr = Bilangan *Prandtl*

Jika sudah ditemukan bilangan *Rayleigh*nya maka bisa dicari bilangan *nusselt*nya dengan persamaan .Plat Horizontal permukaan dipanaskan menghadap ke atas.

$$\text{Untuk } Ra. 2.10^4 - 10^7 \text{ maka } Nu = 0,59 Ra^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{Untuk } 2.10^7 - 10^{11} \text{ maka } Nu = 0,15 Ra^{\frac{1}{3}}$$

Jika sudah mencari bilangan nusseltnya maka bisa mencari koefisien konveksi (h) dengan menggunakan persamaan.

$$h_w = \frac{k}{L} Nu$$

Dimana :

k = Konduktivitas termal fluida ( W/m.°K)

L = Panjang lintasan (m)

Untuk koefisien panas bawah terdiri dari kerugian panas konduksi antara plat *absorber* dengan insulasi dan kerugian panas konveksi dan radiasi antara insulasi dan lingkungan, akan tetapi kerugian panas konveksi dan radiasi antara insulasi dan lingkungan dapat diabaikan karena mempunyai nilai yang sangat kecil. Untuk menghitung kerugian panas pada bagian bawah bisa menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013)

$$U_b = \frac{k}{L}$$

Dimana :

k = Konduktivitas termal bahan insulasi (W/m.°K)

L = Ketebalan bahan insulasi (m)

### 2.5.2.2 Faktor pelepasan panas

Faktor pelepasan panas ( $F_R$ ) didefinisikan sebagai kuantitas yang menghubungkan perolehan panas aktual dari kolektor jika pada suhu yang sama pada fluida masuk. Untuk mencari ( $F_R$ ) bisa menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$FR = F'F''$$

Dimana untuk menentukan faktor efisiensi kolektor bisa menggunakan rumus.

$$F' = \frac{h_r h_1 + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2}$$

Dimana  $h_r$  adalah koefisien perpindahan panas radiasi,  $U_t$  koefisien kehilangan panas bagian atas,  $h_2$  adalah koefisien perpindahan panas konveksi plat dan  $h_1$  koefisien perpindahan panas konveksi pada kaca.

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

Yang dimana  $U_L$  adalah koefisien kehilangan panas total dan  $A_c$  adalah luasan dari kolektor ( $m^2$ ),  $C_p$  adalah panas spesifik ( $J/kg K$ ),  $F'$  faktor efisiensi dan  $\dot{m}$  adalah laju aliran massa fluida ( $kg/s$ ) yang bisa dicarimenggunakan rumus

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_c$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan udara ( $m/s$ )

$A_c$  = Luas kolektor ( $m^2$ )

$\rho$  = Massa jenis ( $kg/m^3$ )

### 2.5.3 Efisiensi kolektor surya pemanas udara

Efisiensi kolektor surya pemanas udara adalah ukuran seberapa efisien kolektor surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk memanaskan udara. Kolektor surya pemanas udara dirancang khusus untuk menyerap radiasi matahari dan mentransfer energinya ke udara yang melintasinya. Efisiensi kolektor surya pemanas udara mengukur seberapa banyak energi panas yang berhasil ditransfer ke udara yang melewati kolektor, dibandingkan dengan energi matahari yang diterimanya. Efisiensi Kolektor merupakan parameter untuk menghitung daya guna dari plat kolektor. Efisiensi kolektor didapat dari hasil bagi energi panas berguna ( $Q_u$ ) dengan perkalian antara intensitas radiasi matahari ( $I_T$ ) dan luas plat kolektor ( $A_c$ ).

#### Komponen Efisiensi Kolektor Surya Pemanas Udara

##### 1. Penyerapan Matahari:

Komponen utama dalam efisiensi kolektor surya pemanas udara adalah kemampuan kolektor untuk menyerap radiasi matahari. Absorber pada permukaan kolektor harus dirancang untuk memiliki penyerapan yang tinggi terhadap spektrum radiasi matahari, terutama dalam rentang panjang gelombang inframerah yang membawa energi panas.

##### 2. Transfer Panas ke Udara:

Efisiensi kolektor surya pemanas udara bergantung pada kemampuannya untuk mentransfer panas yang diserap dari matahari ke udara yang melintasinya. Ini

dapat dicapai dengan memaksimalkan luas permukaan kontak antara absorber dan udara, serta dengan meminimalkan resistensi termal di dalam kolektor.

### 3. Minimalkan Kehilangan Panas:

Kehilangan panas yang tidak diinginkan melalui konduksi, konveksi, dan radiasi juga mempengaruhi efisiensi kolektor surya pemanas udara. Desain kolektor yang baik harus meminimalkan kehilangan panas ini dengan menggunakan bahan isolasi yang tepat dan mengoptimalkan konfigurasi kolektor.

### 4. Penyesuaian Terhadap Kondisi Cuaca:

Efisiensi kolektor surya pemanas udara juga dipengaruhi oleh kemampuannya untuk beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi cuaca, termasuk intensitas cahaya matahari, suhu udara, dan kecepatan angin. Desain yang fleksibel dan adaptif dapat membantu memaksimalkan efisiensi kolektor dalam berbagai kondisi lingkungan.

#### Metode Pengukuran Efisiensi

Efisiensi kolektor surya pemanas udara dapat diukur menggunakan metode eksperimental di lapangan atau dalam kondisi laboratorium. Metode ini melibatkan pengukuran langsung kinerja kolektor dalam menghasilkan energi panas untuk memanaskan udara. Selain itu, simulasi numerik juga dapat digunakan untuk memodelkan dan memprediksi kinerja kolektor dalam berbagai kondisi operasional.

#### Pentingnya Efisiensi Kolektor Surya Pemanas Udara

Efisiensi kolektor surya pemanas udara memiliki dampak langsung terhadap kinerja dan efektivitas sistem pemanas udara berbasis energi matahari. Semakin tinggi efisiensi kolektor, semakin banyak energi panas yang dapat dihasilkan dari energi matahari yang tersedia, yang pada gilirannya dapat mengurangi konsumsi energi konvensional dan biaya operasional sistem pemanas udara.

Dengan demikian, pemahaman dan optimisasi efisiensi kolektor surya pemanas udara menjadi kunci dalam pengembangan teknologi pemanas udara yang ramah lingkungan, efisien, dan berkelanjutan, yang dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada sumber energi fosil. Pengukuran efisiensi kolektor surya yang didefinisikan sebagai rasio penambahan jumlah panas berguna ( $Q_u$ ) selama periode tertentu terhadap energi panas matahari yang menimpa

kolektor dengan waktu tertentu. Efisiensi kolektor bisa didapat dengan menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} \times 100\%$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi Kolektor (%)

$Q_u$  = Energi Berguna (Watt)

$A_c$  = Luas Kolektor (m<sup>2</sup>)

$I_T$  = Intensitas radiasi (W/m<sup>2</sup>)

Untuk mendapatkan nilai energi ( $Q_u$ ) dalam kondisi panas bergunayang di kirim oleh kolektor surya sama dengan energi udaradiserap oleh fluida. Energi berguna yang dikumpulkan oleh kolektor dapat diperoleh menggunakan persamaan (Duffie dan Beckman, 2013).

$$Q_u = A_c F_R [I_T - U_L (T_i - T_o)]$$

Dimana:

$Q_u$  = Energi Berguna (Watt)

$C_p$  = Panas spesifik (J/kg K)

$F_R$  = Faktor Pelepasan panas

$U_L$  = Koefisien kehilangan panas total

$T_i$  = Temperatur Udara Masuk Kolektor (°C)

$T_o$  = Temperatur Udara Keluar Kolektor (°C)

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

#### 2.5.4 Efisiensi Keseluruhan Sistem

Efisiensi keseluruhan sistem adalah ukuran seberapa efisien suatu sistem dalam mengubah energi masukan menjadi energi keluaran yang diinginkan atau berguna. Ini mencakup semua tahapan proses atau komponen dalam sistem, mulai dari pengambilan energi masukan hingga penggunaan energi keluaran. Pentingnya Efisiensi Keseluruhan Sistem merupakan indikator kinerja yang penting dalam mengevaluasi efektivitas dan keberlanjutan suatu sistem. Semakin tinggi efisiensi keseluruhan sistem, semakin sedikit energi yang terbuang dan semakin banyak energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan atau mencapai tujuan tertentu. Dengan memahami dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem, kita

dapat mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu, mengurangi biaya operasional, dan meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan energi. Ini merupakan langkah penting dalam menuju sistem energi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Efisiensi keseluruhan sistem merupakan parameter untuk menghitung daya guna dari keseluruhan perangkat penyusun suatu sistem. Untuk menghitung keseluruhan performa dari sistem bisa menggunakan persamaan (Yen et al., 2018).

$$\eta = \frac{Q_u P_e}{I_T A} \times 100\%$$

Dimana:

- $Q_u$  = Energi Berguna (Watt)
- $P_e$  = Daya Listrik yang dihasilkan (W)
- $I_T$  = Intensitas radiasi (W/m<sup>2</sup>)
- $A$  = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

## 2.6 Aluminium

Aluminium adalah logam diamagnetik berwarna putih kebiruan dan berkilau, meskipun nilai komersial yang paling umum dari logam ini memiliki hasil akhir yang kusam. Ia agak kurang padat daripada besi dan memiliki struktur kristal heksagon, dengan bentuk susunan padat heksagon terdistorsi, di mana setiap atom memiliki enam tetangga terdekat (pada jarak 265,9 pm) di bidangnya sendiri dan enam lainnya pada jarak yang lebih jauh (290,6 pm). Logam ini keras dan rapuh pada sebagian besar suhu tetapi menjadi lunak antara suhu 100 hingga 150 °C. Di atas suhu 210 °C, logam ini menjadi rapuh lagi dan dapat dihancurkan dengan cara dipukul.

Aluminium merupakan konduktor listrik yang wajar. Untuk sebuah logam, aluminium memiliki titik lebur dan titik didih yang relatif rendah (419,5 °C dan 907 °C). Titik leburnya menjadi yang paling rendah dari semua logam blok-d lainnya selain raksa dan kadmium, untuk alasan ini di antara beberapa alasan lainnya, aluminium, kadmium, dan raksa sering tidak dianggap sebagai logam transisi seperti logam blok-d lainnya. Banyak paduan mengandung aluminium, termasuk Aluminium. Logam lain yang telah lama diketahui membentuk paduan biner dengan aluminium adalah aluminium, antimon,

bismut, emas, besi, timbal, raksa, perak, timah, magnesium, kobalt, nikel, telurium, dan natrium.

Meskipun baik aluminium maupun zirkonium tidak bersifat feromagnetik, paduan mereka,  $ZrZn_2$ , menunjukkan feromagnetisme di bawah suhu 35 K. Penelitian eksperimen ini menggunakan dua prototipe rumah sempurna dengan atap dari aluminium plat. Salah satu atap rumah dilapisi dengan kaca. Termoelektrik dipasang pada bagian bawah atap masing-masing rumah sebanyak 12 buah dan disusun dengan rangkaian gabungan seri dan paralel.

Pengambilan data dilakukan satu hari dari pukul 08.00 -15.59. Tegangan listrik terbesar yang didapatkan terjadi pada pukul 11.00 – 13.59 mencapai 0,215 – 0,183 Volt padarumah dengan atap dilapisi kaca dan 0,654 – 0,527 Volt. Penggunaan lapisan kaca membuat temperatur atap menjadi stabil karena panas yang diserap dapat ditahan oleh kaca. Akibatnya membuat tegangan yang dihasilkan pada rumah dengan atap dilapisi kaca lebih stabil. Dari penelitian ini juga membuktikan perbedaan temperatur mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan oleh termoelektrik.

Aluminium memiliki konduktivitas termal yang tinggi, yang membuatnya menjadi pilihan yang ideal untuk digunakan dalam pembangkit listrik panas matahari seperti flat plate solar collector. Konduktivitas termal yang tinggi memungkinkan aluminium untuk dengan cepat menghantarkan panas dari kolektor solar ke fluida kerja, seperti air atau udara. Hal ini penting untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi panas. Dengan konduktivitas termal yang tinggi, aluminium memungkinkan panas untuk tersebar secara merata di seluruh permukaan kolektor, meningkatkan kinerjanya secara keseluruhan.

Aluminium merupakan logam yang ringan dan mudah dibentuk, yang membuatnya cocok untuk desain flat plate solar collector. Karena ringannya, aluminium memungkinkan pengurangan beban struktural pada sistem kolektor, sehingga mengurangi biaya produksi dan instalasi. Kemampuannya untuk mudah dibentuk juga memungkinkan untuk pembuatan desain yang kompleks dan efisien secara termal, seperti perubahan bentuk permukaan untuk meningkatkan penyerapan panas dari sinar matahari. Dengan kata lain, fleksibilitas dalam pembentukan aluminium memungkinkan untuk desain

kolektor solar yang lebih efektif.

Salah satu keuntungan utama aluminium adalah ketahanannya terhadap korosi. Ketika terpapar lingkungan luar, terutama air dan udara, aluminium membentuk lapisan oksida yang melindungi permukaannya dari korosi. Ini penting untuk sistem pembangkit listrik panas matahari yang sering terkena paparan lingkungan eksternal. Dengan demikian, penggunaan aluminium dalam flat plate solar collector memastikan umur operasional yang lebih panjang dan meminimalkan biaya perawatan dan penggantian material.

Dengan memanfaatkan keuntungan konduktivitas termal tinggi, kemudahan pembentukan, dan ketahanan terhadap korosi, penggunaan aluminium dalam desain flat plate solar collector menjadi pilihan yang cerdas untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan sistem pembangkit listrik panas matahari secara keseluruhan.

## 2.7 Heatsink

*Heatsink* adalah logam yang didesain khusus yang biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga yang berfungsi untuk memperluas transfer panas pada permukaan, karena semakin luas suatu permukaan maka semakin luas juga permukaan perpindahan panas yang terjadi agar proses pendinginan semakin cepat (Sari et al., 2019). *Heatsink* terdiri dari beberapa susunan sirip-sirip plat tipis yang berjejer (Yunianto, 2008). *Heatsink* bekerja dengan cara mentransfer energi panas yang dihasilkan dari peralatan elektronik atau mekanis ke medium fluida yang bersuhu lebih rendah (Sara, 2019). *Heatsink* mempunyai beberapa karakteristik yang dapat mempengaruhi kinerja dari *heatsink* itu sendiri yaitu:

1. Luas area *heatsink* dapat menyebabkan pelepasan panas lebih baik karena luasnya area pendinginan.
2. Bentuk aerodinamik *heatsink* yang baik dapat mempermudah aliran fluida keluar dari sirip.
3. Transfer panas yang baik juga dapat mempermudah pelepasan panas ke setiap bagian-bagian sirip.
4. Desain permukaan dasar *heatsink* yang rata sangat baik dan mempermudah fluida menyentuh permukaan (Anggraini, 2020).

Material pada *heatsink* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

### 1. Aluminium

*Heatsink* yang terbuat dari aluminium mempunyai konduktivitas termalkurang baik dibandingkan dengan tembaga, perak dan emas yang mengakibatkan penyerapan panas kurang baik akan tetapi aluminium memiliki keunggulan pelepasan kalor ke lingkungan sangat cepat, mempunyai harga yang murah dan berat dari aluminium sendiri lebih ringan dari pada tembaga.

### 2. Tembaga

Tembaga memiliki kelebihan pada konduktivitas termal yang lebih tinggi daripada aluminium dan dapat mengakibatkan penyerapan panas lebih baik daripada aluminium akan tetapi tembaga memiliki kekurangan yaitu tidak dapat melepas panas dengan cepat, serta proses produksi yang rumit dan memiliki berat yang lebih daripada aluminium.

### 3. Perpaduan Tembaga dan Aluminium

*Heatsink* yang menggunakan tembaga dan aluminium adalah perpaduan dari dua buah material yang memiliki keunggulan dari gabungan kedua bahan tersebut agar menjadi bahan yang lebih unggul dimana bisa menerima dan melepas panas dengan baik.

### 4. Emas dan Perak

Material yang terbuat dari emas dan perak ini mempunyai Konduktivitas yang paling tinggi akan tetapi untuk proses produksi yang rumit dan harga yang mahal maka jarang digunakan (Wiradika, 2019).

Heatsink adalah komponen yang digunakan untuk menghilangkan panas yang dihasilkan oleh perangkat elektronik atau komponen lainnya dengan cara mengalirkannya ke udara atau media pendingin lainnya. Heatsink berperan penting dalam menjaga suhu perangkat elektronik agar tetap dalam batas yang aman, sehingga mencegah overheating yang dapat merusak atau bahkan menghancurkan komponen tersebut.

Heatsink umumnya terbuat dari material yang memiliki konduktivitas termal tinggi, seperti aluminium atau tembaga. Kedua material ini efektif dalam menyalurkan panas dari sumber panas ke lingkungan sekitarnya.

1. Sirip heatsink adalah struktur berbentuk sirip yang terpasang pada permukaan heatsink. Sirip ini meningkatkan luas permukaan heatsink, sehingga memperbesar area kontak dengan udara dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas.
2. *Baseplate* adalah bagian heatsink yang berfungsi sebagai antarmuka antara perangkat elektronik yang memerlukan pendinginan dan struktur heatsink itu sendiri. Kualitas baseplate yang baik sangat penting untuk memastikan transfer panas yang efisien.

Heatsink bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas konduksi dan konveksi. Ketika perangkat elektronik menghasilkan panas, panas tersebut diserap oleh heatsink melalui kontak langsung atau pemasangan thermal interface material. Kemudian, panas dihantarkan melalui bahan heatsink dan disebarkan ke sirip-sirip heatsink. Udara di sekitar heatsink kemudian mengalir melewati sirip-sirip tersebut, mengambil panas, dan mengalirkannya ke lingkungan sekitarnya. Proses ini berulang secara terus-menerus sehingga menjaga suhu perangkat elektronik tetap stabil.

#### 1. *Active Heatsink*

Heatsink aktif dilengkapi dengan kipas atau sistem pendingin lainnya yang membantu meningkatkan laju perpindahan panas. Ini cocok untuk situasi di mana panas yang dihasilkan sangat tinggi atau di lingkungan yang kurang memiliki aliran udara yang cukup.

#### 2. *Passive Heatsink*

Heatsink pasif tidak memerlukan daya listrik tambahan dan bergantung sepenuhnya pada konveksi alami untuk menghilangkan panas. Meskipun lebih sederhana, heatsink pasif masih efektif dalam mengatasi panas yang moderat.

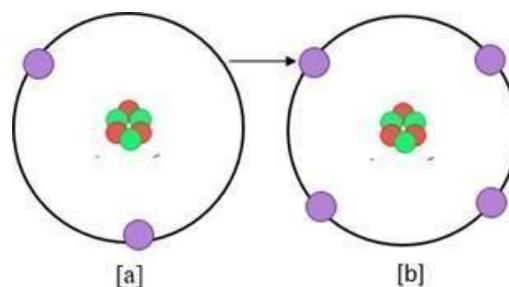
#### Aplikasi Heatsink

Heatsink banyak digunakan dalam berbagai perangkat elektronik, termasuk komputer, laptop, server, kartu grafis, lampu LED, dan perangkat elektronik lainnya yang memerlukan pendinginan. Heatsink juga digunakan dalam industri otomotif, pesawat terbang, dan aplikasi lainnya di mana pengaturan suhu yang efisien sangat penting.

Heatsink adalah komponen penting dalam menjaga suhu perangkat elektronik agar tetap dalam batas yang aman. Dengan menggunakan prinsip perpindahan panas konduksi dan konveksi, serta berbagai desain dan material yang tersedia, heatsink mampu menghilangkan panas yang dihasilkan oleh perangkat elektronik dengan efisien. Dengan demikian, heatsink memainkan peran krusial dalam menjaga kinerja dan umur pakai perangkat elektronik modern.

## 2.8 Listrik

Listrik adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan partikel bermuatan, seperti elektron, dalam suatu konduktor. Ini merupakan salah satu bentuk energi paling penting dalam kehidupan modern dan digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari penerangan hingga transportasi dan produksi industri. Arus listrik termasuk pada listrik yang dapat bergerak, dimana ketika kedua atom memiliki jumlah elektron yang sama (warna ungu) karena ada satu atom yang melepaskan satu elektron sehingga menyebabkan kekurangan muatan elektron ini lah yang disebut atom bermuatan positif sedangkan untuk atom yang bermuatan negatif adalah atom yang menangkap elektron yang terlepas dari atom lain maka terjadilah kelebihan muatan. Perpindahan elektron terjadi karena adanya tekanan yang terjadi, perpindahan elektron ini mengakibatkan ke dua atom tidak seimbang karena adanya pergerakan elektron berpindah secara terus menerus dari atom satu ke atom yang lainnya karena adanya dorongan atau energi yang disebut beda potensial (tegangan) yang dinyatakan dalam satuan volt. Pergerakan atau perpindahan elektron inilah yang sering disebut aliran arus listrik (Ponto, 2018).



Gambar 2.8 Perpindahan elektron dari atom a ke atom b  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/LBGmHYudJPeM9jHv7>)

Sifat-sifat Listrik antara lain :

1. Arus Listrik:

Arus listrik adalah aliran muatan listrik melalui suatu konduktor. Arus ini diukur dalam ampere (A) dan mengindikasikan banyaknya muatan yang melewati titik tertentu dalam suatu waktu.

2. Tegangan Listrik:

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian. Tegangan diukur dalam volt (V) dan menunjukkan gaya yang mendorong muatan listrik untuk bergerak.

3. Hambatan Listrik:

Hambatan listrik adalah resistensi suatu konduktor terhadap aliran arus listrik. Hambatan ini disebabkan oleh tahanan material konduktor terhadap pergerakan muatan listrik dan diukur dalam ohm ( $\Omega$ ).

Sumber Listrik :

1. Sumber Primer:

Sumber primer listrik adalah sumber energi alami atau buatan yang menghasilkan listrik. Contoh sumber primer termasuk pembangkit listrik tenaga air, tenaga surya, tenaga angin, tenaga nuklir, dan pembangkit listrik batubara.

2. Sumber Sekunder:

Sumber sekunder listrik adalah sumber energi yang dihasilkan dari konversi energi primer. Contoh sumber sekunder termasuk baterai, generator, dan sistem penyimpanan energi.

Aplikasi Listrik

1. Penerangan:

Listrik digunakan untuk penerangan dalam bentuk lampu, baik di rumah, perkantoran, jalan raya, maupun tempat umum lainnya.

2. Transportasi:

Listrik digunakan dalam transportasi sebagai sumber tenaga untuk

mobil listrik, kereta api listrik, dan pesawat terbang listrik, membantu mengurangi polusi udara dan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

### 3. Industri:

Listrik digunakan dalam berbagai proses industri, seperti manufaktur, pengolahan bahan, dan pemeliharaan lingkungan. Ini mencakup penggunaan listrik dalam mesin, pemanas, sistem pengendalian, dan peralatan lainnya.

Keunggulan Listrik antara lain :

#### 1. Efisiensi:

Listrik memiliki efisiensi tinggi dalam penggunaan energi karena konversi energi yang efisien dan minimnya limbah atau polusi yang dihasilkan.

#### 2. Kemudahan Penggunaan:

Listrik mudah diatur dan dikontrol, serta dapat diubah menjadi berbagai bentuk energi lainnya, seperti cahaya, panas, atau gerakan mekanis.

#### 3. Ramah Lingkungan:

Dengan menggunakan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, tenaga angin, dan tenaga air, listrik dapat menjadi solusi ramah lingkungan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memperlambat perubahan iklim global.

Tantangan dan Kendala

#### 1. Ketergantungan pada Sumber Energi Fosil:

Meskipun ada peningkatan penggunaan energi terbarukan, masih ada ketergantungan yang signifikan pada sumber energi fosil, yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

#### 2. Infrastruktur dan Penyimpanan Energi:

Pengembangan infrastruktur listrik, termasuk jaringan distribusi dan penyimpanan energi yang efisien, masih menjadi tantangan yang perlu diatasi

untuk mendukung penggunaan listrik yang lebih luas dan berkelanjutan.

Listrik merupakan salah satu bentuk energi paling penting dalam kehidupan modern, digunakan dalam berbagai aplikasi dari penerangan hingga industri. Dengan efisiensi, kemudahan penggunaan, dan potensi untuk menjadi ramah lingkungan melalui penggunaan energi terbarukan, listrik terus menjadi fokus utama dalam upaya untuk mengurangi polusi dan menciptakan masa depan energi yang berkelanjutan.

Arus listrik sendiri dibagi menjadi 2 macam

a. Listrik arus bolak balik (*AC = Alternating Current*)

Listrik arus bolak balik adalah arus listrik yang arahnya selalu bertukar, biasanya sumber arus bolak balik berasal dari induksi elektromagnetik. Arus bolak-balik adalah arus listrik yang arahnya berubah secara teratur dan berulang antara positif dan negatif. Arus ini dihasilkan oleh generator AC dan banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik.

1. Arah arus secara berkala berubah, sehingga tegangan dan arus berayun naik-turun dalam siklus.
2. Frekuensi arus AC, yang diukur dalam hertz (Hz), menunjukkan jumlah perubahan arah yang terjadi dalam satu detik.
3. Di rumah tangga, listrik AC umumnya memiliki frekuensi 50 atau 60 Hz, tergantung pada wilayah geografis.
4. Arus AC digunakan dalam sistem tenaga listrik rumah tangga, industri, dan komersial.
5. Cocok untuk mentransmisikan listrik melalui jaringan distribusi karena kemampuannya untuk ditransformasikan ke tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah dengan mudah menggunakan transformator.
6. Digunakan dalam berbagai perangkat elektronik dan motor listrik.

b. Listrik arus searah (*DC = Direct Current*)

Listrik dengan arus searah adalah tegangan listrik yang arah mengalirnya satu arah, biasanya bersumber dari pembangkit daya, sel surya, dll. Arus searah adalah arus listrik yang arahnya tetap konstan dari positif ke negatif.

Arus ini dihasilkan oleh sumber daya seperti baterai, sel surya, atau generator DC. Berikut pengaplikasian arus listrik DC :

1. Arus dan tegangan dalam arus DC tetap stabil tanpa perubahan arah secara berkala.
2. Digunakan dalam aplikasi di mana konsistensi dan stabilitas tegangan diperlukan, seperti dalam perangkat elektronik sensitif.
3. Digunakan dalam perangkat elektronik portabel, seperti ponsel, laptop, dan perangkat audio.
4. Dalam sistem tenaga listrik, digunakan dalam beberapa aplikasi khusus, seperti sistem kontrol dan otomatisasi.
5. Dalam industri, digunakan dalam pengisian baterai, pengelasan, dan proses elektrokimia.

Perbandingan dan Perbedaan :

1. Arah Arus: Arus AC berubah arah secara berkala, sementara arus DC tetap bergerak dalam satu arah.
2. Frekuensi: Arus AC memiliki frekuensi yang terukur, sementara arus DC tidak memiliki frekuensi karena arahnya tetap konstan.
3. Aplikasi: Arus AC umumnya digunakan dalam distribusi daya listrik, sedangkan arus DC lebih umum digunakan dalam aplikasi portabel dan spesifik.
4. Transformasi Tegangan: Arus AC mudah diubah menjadi tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah menggunakan transformator, sedangkan arus DC memerlukan konverter daya untuk transformasi tegangan.

Kedua jenis arus listrik, AC dan DC, memiliki peran penting dalam sistem tenaga listrik modern dan memiliki karakteristik serta aplikasi yang berbeda. Pemahaman yang baik tentang keduanya penting untuk merancang, mengelola, dan memelihara sistem listrik dengan efisien dan efektif.

Besaran daya listrik itu sendiri adalah bentuk usaha yang berfungsi untuk merubah arus listrik menjadi energi lain. Daya listrik disimbolkan dengan huruf P yang memiliki kepanjangan dari *power* dan memiliki satuan Watt (telaumbauna,2022). Untuk menentukan daya listrik bisa menggunakan

persamaan (Giancoli,2005).

$$P = V \cdot I$$

Dimana :

P = Daya Listrik (watt)

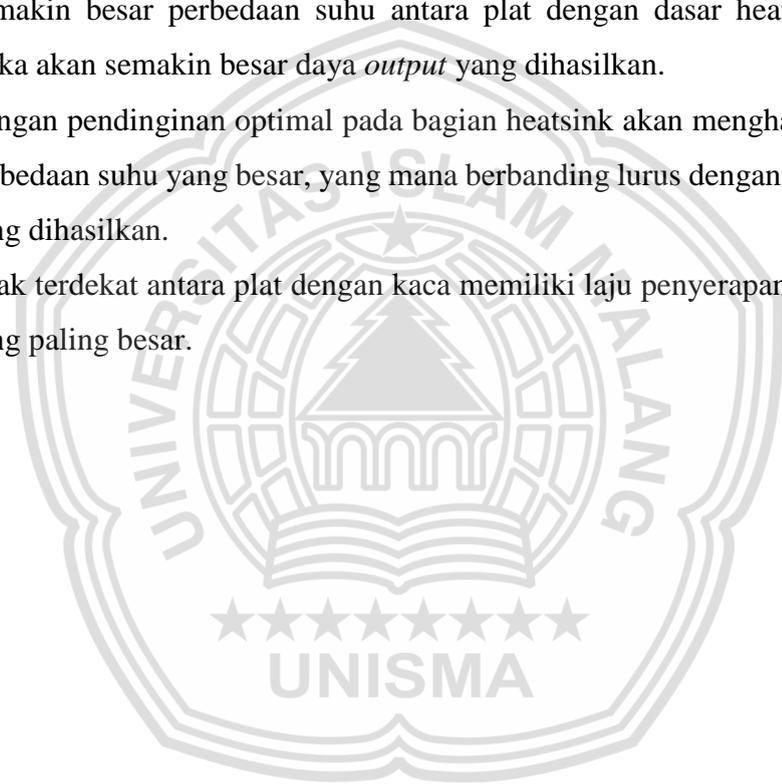
V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

## 2.9 Hipotesis

Setelah diamati dari penelitian terdahulu, maka penelitian ini menarik sebuah hipotesis pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Semakin besar perbedaan suhu antara plat dengan dasar heatsink maka akan semakin besar daya *output* yang dihasilkan.
2. Dengan pendinginan optimal pada bagian heatsink akan menghasilkan perbedaan suhu yang besar, yang mana berbanding lurus dengan *output* yang dihasilkan.
3. Jarak terdekat antara plat dengan kaca memiliki laju penyerapan panas yang paling besar.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metodologi eksperimental nyata, yang dilakukan dengan menggunakan alat yang dibuat dan mengumpulkan data berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ruangan tertutup dengan kecepatan angin 1,5 m/s yang dilakukan selama 150 menit.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 variabel, yaitu:

- a. Variabel Bebas. Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan atau tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya menggunakan plat aluminium dan desain *flat plate solar collector*.
- b. Variabel Terikat. Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian kali ini, variabel terikat adalah efisiensi keseluruhan pada alat pembangkit listrik panas matahari.
- c. Variabel Terkontrol. Variabel terkontrol adalah variabel besarnya telah ditentukan sebelum penelitian berlangsung dan nilainya bersifat konstan. Dalam penelitian ini, variabel terkontrolnya adalah jarak kaca dan plat aluminium menggunakan jarak 3cm, 4cm, 5cm ketebalan kaca 3 mm dan ketebalan plat aluminium 0,8 mm.

#### 3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat penelitian dan bahan penelitian yang digunakan adalah

1. Alat pembangkit listrik generator termoelektrik untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik dengan menggunakan kolektor surya pada sisi panas dan *heatsink* pada sisi dingin. Dengan spesifikasi :
  - a. Kaca bening dengan ketebalan 3 mm

- b. Plat aluminium ketebalan 0,8 mm
  - c. Insulator menggunakan kayu triplek dengan tebal 3 mm
  - d. *Heatsink* dengan ukuran 30 cm x 30 cm
  - e. Generator termoelektrik yang disusun paralel sebanyak 10 buah
2. Termometer digunakan untuk mengukur suhu pada objek penelitian
  3. Multimeter digunakan untuk mengukur output dari (TEG) yang meliputi arus dan tegangan
  4. Jam digunakan untuk melihat waktu pada dilakukan penelitian
  5. Solar *power* meter digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari pada saat penelitian
  6. Alat tulis digunakan untuk mencatat data penelitian

### 3.5 Desain Alat



Gambar 3.1 Desain Kolektor Surya  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Gambar 3.1 menunjukkan desain dari kolektor surya plat datar menggunakan material aluminium pada sistem pembangkit listrik panas matahari. Desain tersebut dibuat dengan bantuan aplikasi desain 3D inventor. Adapun tujuan dari perancangan kolektor surya plat datar tersebut antara lain untuk memperoleh efisiensi yang optimal dan meminimalisir biaya konstruksi. Kolektor surya plat datar memiliki beberapa komponen di antaranya :

1. *Heatsink*



Gambar 3.2 *Heatsink*

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/okroHMtVT7RWNWZZ9>)

*Heatsink* digunakan untuk melepas panas pada sisi dingin termoelektrik generator agar suhu panas pada sisi suhu dingin tetap terjaga.

2. Generator termoelektrik



Gambar 3.3 Generator Termoelektrik

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/zetNko8kH3Rr56Ft7>)

Generator termoelektrik adalah objek penelitian yang berguna untuk menghasilkan arus listrik dari perbedaan suhu.

3. Plat *Collector* Material Aluminium



Gambar 3.4 Plat Aluminium

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/ykhvxHJWFRSt8RTH6>)

Plat aluminium berfungsi untuk menyerap dan menyalurkan panas ke termoelektrik, plat aluminium diletakan pada sisi panas termoelektrik, yaitu berada tepat di bawah kaca dan di atas plat aluminium.



Gambar 3.5 Kaca Penutup  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/Z7RQX2t9bxrauNeZ6>)

4. Kaca Penutup  
Berfungsi sebagai penyerapan panas dan juga untuk menyalurkan panas
5. *Indicator thermometer*



Gambar 3.6 *Indicator Thermometer* (Indikator Suhu)  
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/AHB1oEv1YCix8nGB9>)

Berfungsi untuk mengetahui temperatur dari masing-masing titik yang ditentukan. Pada ujung kabel terdapat sebuah sensor yang dapat membaca temperatur dari objek yang dipasangi kemudian ditampilkan pada layar berupa angka digital beserta satuan suhunya. *Indicator Thermometer* memudahkan kita dalam pencatatan data hasil penelitian.

## 6. *Fan* (Kipas)



Gambar 3.7 *Fan* (Kipas)

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/f5SZEvgcwRhdq7c9A>)

Berfungsi untuk menambah volume angin, agar bisa menentukan aliran angin masuk dan angin keluar

### 3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan kali ini memerlukan berbagai tahapan pelaksanaan, pada penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

#### 3.6.1 Tahap Pembuatan Alat

Sebelum proses pembuatan alat penelitian, diawali dengan konsultasi pembuatan alat tentang perencanaan dan survei produk yang akan digunakan, pembuatan alat penelitian dapat dilakukan dengan langkah – langkah berikut

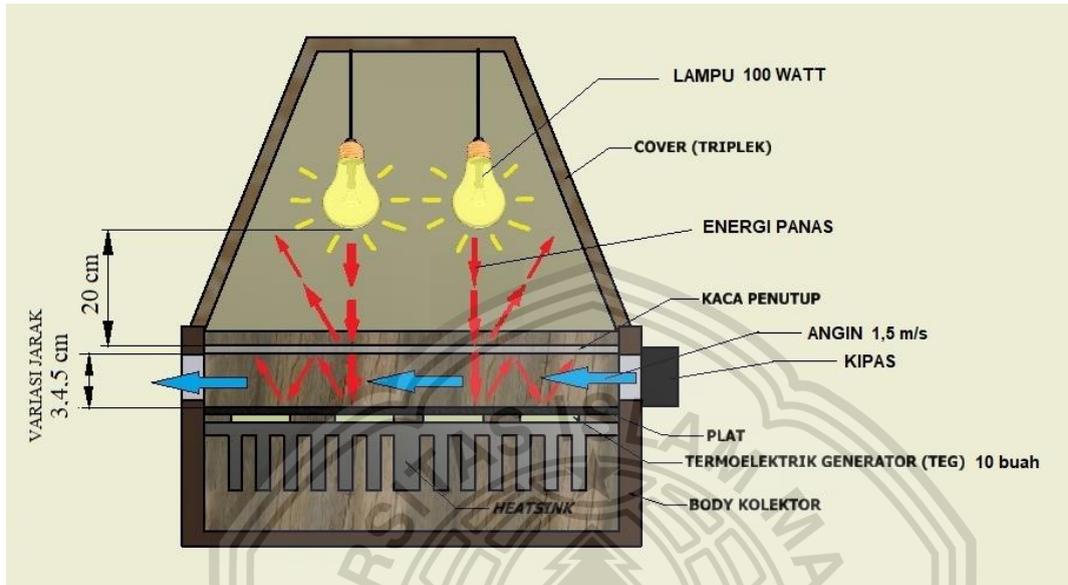
#### 3.6.2 Tahapan Persiapan dan Pemeriksaan Alat Uji

Pada tahap ini, persiapan – persiapan yang dilakukan adalah proses perakitan alat uji yang dirangkai sesuai konsep yang telah ditentukan sebelumnya. Tahap selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan pada kesiapan alat uji dan komponen untuk memastikan alat – alat tersebut dapat berfungsi pada saat digunakan. Adapun hal – hal yang perlu dilakukan dan diperhatikan dalam tahapan ini, antar lain :

1. Pemasangan modul generator termoelektrik (TEG) yang sesuai terhadap sifat dari sisi – sisinya pada, pada sisi panas modul akan diletakkan pada kolektor surya plat datar, pada sisi dingin akan diberi *heatsink*
2. Menguji kinerja modul generator termoelektrik (TEG) hal ini perlu

dilakukan supaya peneliti dapat mengetahui berfungsi atau tidaknya modul generator termoelektrik (TEG) dengan cara adanya tegangan yang dikeluarkan atau tidak.

### 3.6.3 Ilustrasi Pengambilan Data



Gambar 3.8 Ilustrasi Pengambilan Data  
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2024)

Pada gambar 3.8 di atas merupakan ilustrasi pengambilan data dari penelitian Desain *Flat Plate Solar Collector* Menggunakan Material Aluminium Pada Sistem Pembangkit Listrik Panas Matahari. Dikarenakan penelitian ini terkendala oleh cuaca mendung yang berkepanjangan dimana peneliti sulit untuk mendapatkan panas matahari secara konstan, maka peneliti memutuskan untuk mengilustrasikan sumber energi panas dari matahari dengan menggunakan lampu berdaya 100 watt berjumlah dua buah untuk keperluan penelitian. Penggunaan lampu sebagai perumpamaan energi panas matahari juga memiliki kelebihan, salah satunya yaitu panas yang diradiasikan oleh lampu lebih konstan dibandingkan dengan panas matahari dimana panas matahari dapat menghilang ketika cuaca mendung, tentunya hal tersebut dapat menghambat efisiensi waktu dalam penelitian ini. Dengan menggunakan lampu berdaya 100 watt sebanyak dua buah menghasilkan intensita panas sebesar  $1015 \text{ w/m}^2$  dimana nilai tersebut mendekati besarnya intensitas panas yang diradiasikan oleh matahari dengan rata-rata  $1018 \text{ w/m}^2$ .

Selain itu terdapat sedikit perbedaan pada desain berupa penambahan *cover* berbahan insulator triplek dengan ketebalam 3 mm yang bertujuan untuk memfokuskan panas yang diradiasikan oleh lampu dan juga menahan panas dari lampu tersebut agar tidak terbuang secara cuma-cuma, dengan kata lain penggunaan *cover* bertujuan untuk meminimalisir kerugian panas sehingga pemanfaatan energi panas menjadi lebih maksimal.

Pemilihan triplek sebagai material untuk *cover* mengacu pada sifat triplek yaitu sebagai isolator panas, hal tersebut sejalan dengan tujuan penggunaan *cover* sebagai penahan panas agar tidak terbuang sia-sia. Material triplek memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga memungkinkan panas tidak dapat menembus keluar triplek.

Pada ilustrasi pengambilan data di atas dapat dilihat bahwa panas yang diradiasikan oleh lampu sampai kepada kaca penutup kolektor, dimana respon dari kaca penutup ada dua, yaitu menyerap panas dan memantulkan panas. Panas yang berhasil diserap oleh kaca penutup akan ditransmisikan menuju ke plat dimana respon dari plat pun juga sama seperti kaca. Panas yang berhasil diserap oleh plat akan ditransmisikan menuju ke sisi panas termoelektrik generator (TEG). Termoelektrik generator memiliki dua sisi, yaitu sisi panas dan sisi dingin. Sisi panas dari termoelektrik generator menempel langsung dengan plat sehingga terjadi perpindahan panas secara konduksi dari plat ke termoelektrik generator. Termoelektrik generator memiliki prinsip kerja mengubah energi panas menjadi listrik berdasarkan perbedaan suhu, hal ini dapat diartikan bahwa ketika sisi panas termoelektrik generator mengalami kenaikan suhu akibat menerima panas dari plat, maka sisi dingin pada termoelektrik harus memiliki suhu yang rendah agar terjadi perbedaan suhu, oleh sebab itu diperlukan pemasangan alat penukar panas (*Heatsink*) untuk menjaga suhu sisi dingin termoelektrik generator tetap rendah sehingga terjadi perbedaan suhu antara kedua sisi termoelektrik. Ketika muncul perbedaan suhu antara kedua sisi termoelektrik, maka akan terjadi konversi energi panas menjadi listrik yang keluar melalui kabel pada termoelektrik generator.

#### 3.6.4 Metode Pengambilan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental, yaitu dengan melakukan percobaan langsung di lapangan untuk mendapatkan data hasil dari penelitian yang nyata. Untuk mempermudah analisis data, maka nilai – nilai pengukuran diletakkan dalam bentuk tabel blok untuk diambil data – datanya adalah sebagai berikut :

1. Memastikan rangkaian komponen sudah sesuai pada rancangan
2. Menjalankan sistem pada generator termoelektrik (TEG) dan mengambil data berupa temperatur, arus, tegangan, dan daya listrik yang dihasilkan oleh alat.
3. Melakukan pengulangan percobaan dengan melakukan pengambilan data selama 150 menit.
4. Melakukan pengambilan data yang telah dihasilkan pada keseluruhan penelitian yang meliputi

- a. Intensitas radiasi matahari
- b. Temperatur permukaan plat besi
- c. Temperatur kaca
- d. Temperatur udara masuk kolektor
- e. Temperatur udara keluar kolektor
- f. Temperatur sirip *heatsink*
- g. Temperatur permukaan *heatsink*
- h. Temperatur lingkungan
- i. Tegangan listrik
- j. Arus listrik

Berikut merupakan contoh Tabel yang digunakan untuk keperluan pengambilan data.

Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data

Waktu	$I_T$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$T_d$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_L$ (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
15										
30										
45										
60										
75										
90										
105										
120										
135										
150										

### 3.6.5 Rencana Analisis Data

Dalam tahap ini, data yang telah dikumpulkan pada masing – masing percobaan akan dihitung yang nantinya dari hasil perhitungan tersebut akan dianalisis dan diambil kesimpulannya. Adapun analisa yang dilakukan adalah :

1. Menganalisis efisiensi generator termoelektrik (TEG)
2. Menganalisis efisiensi dari kolektor surya plat datar

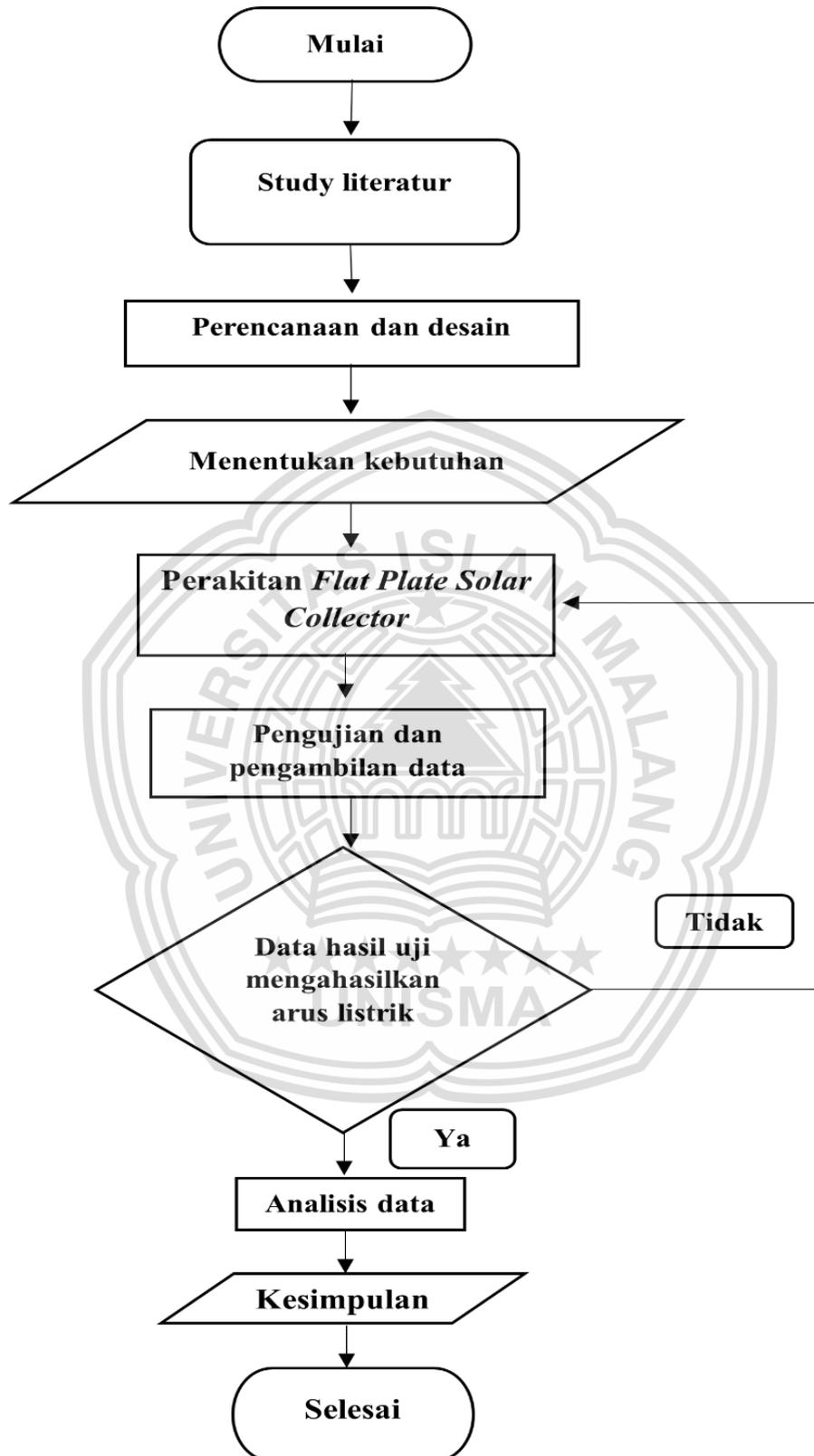
### 3. Menganalisis efisiensi *heatsink*

Setelah data – data selesai dianalisa, Langkah berikutnya melakukan perbandingan terhadap hasil dari penelitian. Adapun hasil penelitian yang akan dibandingkan antara lain :

1. Grafik hubungan intensitas radiasi matahari dan temperatur plat absorber
2. Grafik energi berguna dan efisiensi kolektor surya plat
3. Grafik hubungan efisiensi *heatsink* dan panas dasar
4. Grafik beda suhu dan efisiensi generator termoelektrik
5. Grafik efisiensi keseluruhan sistem



### 3.7 Diagram Alir



## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

Berikut merupakan Tabel hasil pengambilan data dengan variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian dengan jarak 3 cm

Waktu (menit)	$I_T$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$T_d$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_L$ (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	1019,5	44,3	33,2	29,6	32,9	36,9	32,6	29,6	0,08	0,02
15	1019,5	47,5	33,7	29,6	33	39,7	32,7	29,6	0,09	0,03
30	1019,5	50,1	35,4	29,6	33,2	41,9	32,8	29,6	0,1	0,04
45	1019,5	53,8	36,9	29,6	33,2	45,2	32,8	29,6	0,11	0,05
60	1019,5	56,8	47,8	29,6	33,2	47,8	32,9	29,6	0,12	0,06
75	1019,5	59,3	55,1	29,6	33,4	49,9	33,2	29,6	0,13	0,07
90	1019,5	62,8	55,8	29,6	33,9	53	33,9	29,6	0,14	0,08
105	1019,5	65,5	62,2	29,6	34,7	55,3	33,9	29,6	0,15	0,09
120	1019,5	68,7	62,8	29,6	34,8	58,1	34	29,6	0,16	0,1
135	1019,5	69,7	63,1	29,6	35,4	58,7	34,1	29,6	0,17	0,11

Tabel 4.2 Data hasil penelitian dengan jarak 4 cm

Waktu (menit)	$I_T$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$T_d$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_L$ (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	1019,5	45,6	35,9	29,6	32,3	38,8	32,1	29,6	0,07	0,02
15	1019,5	48,4	39,4	29,6	32,4	41,2	32,1	29,6	0,08	0,02
30	1019,5	51,6	42,6	29,6	32,5	44	34	29,6	0,09	0,03
45	1019,5	54,8	46,7	29,6	32,7	46,8	34,3	29,6	0,1	0,04
60	1019,5	57,1	48,2	29,6	32,8	48,7	34,4	29,6	0,11	0,05
75	1019,5	60,3	53,2	29,6	33	51,5	34,8	29,6	0,12	0,06
90	1019,5	63,5	57,8	29,6	33	54,3	35,1	29,6	0,13	0,07
105	1019,5	67,8	60,8	29,6	33,9	58,2	35,1	29,6	0,14	0,08
120	1019,5	70,7	63,2	29,6	34	60,7	35,2	29,6	0,15	0,09
135	1019,5	71,7	66	29,6	34,2	61,3	35,3	29,6	0,16	0,1

Tabel 4.3 Data hasil penelitian dengan jarak 5 cm

Waktu (menit)	$I_T$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$T_d$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_L$ (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
0	1019,5	47,2	36,7	29,6	31,3	41	31,8	29,6	0,06	0,02
15	1019,5	50,3	40,6	29,6	31,6	43,7	32,2	29,6	0,07	0,02
30	1019,5	53,4	41	29,6	31,9	46,4	32,2	29,6	0,08	0,02
45	1019,5	56,8	43,9	29,6	32,2	49,4	32,2	29,6	0,09	0,03
60	1019,5	59,3	48,7	29,6	32,6	51,5	32,3	29,6	0,1	0,04
75	1019,5	62,8	50,2	29,6	32,7	54,6	32,3	29,6	0,11	0,05
90	1019,5	65,2	54,4	29,6	33,3	56,6	32,3	29,6	0,12	0,06
105	1019,5	68,6	60,5	29,6	33,4	59,6	32,3	29,6	0,13	0,07
120	1019,5	72,8	65,9	29,6	33,4	63,4	32,4	29,6	0,14	0,08
135	1019,5	74,6	69,1	29,6	33,6	64,8	32,6	29,6	0,15	0,09

## 4.2 Contoh Perhitungan

### 4.2.1 Analisis Efisiensi Pada Termoelektrik

Sebagai contoh perhitungan, diambil dari salah satu data yang didapatkan pada penelitian pada tanggal 2 November 2023 variasi jarak 5 cm menit ke 135 dengan data sebagai berikut.

- Panas plat (sisi panas) : 74,6°C
- Panas dasar (sisi dingin) : 64,8 °C
- Beda suhu : 9,8°C
- Tegangan : 0,15 V
- Arus : 0,09 A

#### 4.2.1.1 Koefisien seebeck

Untuk mencari koefisien seebeck bisa menggunakan persamaan (2.1)

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{0,15}{9,8} = 0,015306122 \text{ V/}^\circ\text{C}$$

#### 4.2.1.2 Hambatan Termal

Untuk mencari hambatan listrik bisa menggunakan persamaan (2.7)

$$\theta = \frac{\Delta T}{I \cdot V} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T)} = \frac{9,8}{0,09 \cdot 0,15} \frac{2 \cdot 74,6}{(74,6 - 9,8)} = 1671,422039 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

#### 4.2.1.3 Hambatan Listrik

Untuk mencari hambatan termal bisa menggunakan persamaan (2.6)

$$R = \frac{V}{I} \frac{(T_h - \Delta T)}{T_h} = \frac{0,15}{0,09} \frac{(74,6 - 9,8)}{74,6} = 1,44772118 \Omega$$

#### 4.2.1.4 Figure of merit

Untuk mencari *figure of merit* bisa menggunakan persamaan (2.5)

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{R} = \frac{0,015306122^2 \cdot 1671,422039}{1,44772118} = 0,270477761$$

#### 4.2.1.5 Efisiensi termoelektrik

Untuk mencari efisiensi termoelektrik bisa menggunakan persamaan (2.4)

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + T_c/T_h} = \frac{9,8}{74,6} \cdot \frac{\sqrt{1+0,270477761} - 1}{\sqrt{1+0,270477761} + 64,8/74,6} =$$

0,008369614 %

#### 4.2.1.6 Analisis Efisiensi Pada Kolektor Surya

Sebagai contoh perhitungan, diambil dari salah satu data yang didapatkan pada penelitian pada pukul 11:00 WIB dengan data sebagai berikut

- a. Intensitas radiasi matahari : 987.38 W/m<sup>2</sup>
- b. Temperatur udara masuk : 29,6 °C
- c. Temperatur udara keluar : 33,6 °C
- d. Temperatur udara sekitar : 29,6 °C
- e. Temperatur kaca penutup : 69,1 °C
- f. Temperatur plat : 74,6 °C
- g. Luas kolektor : 0.09 m<sup>2</sup>
- h. Panjang kolektor : 0.3 m
- i. Kecepatan udara : 1.5 m/s
- j. Ketebalan bahan insulasi : 3 mm

#### 4.2.1.7 Panas radiasi yang dapat diserap Kolektor surya

Panas radiasi yang dapat diserap Kolektor surya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) dimana panas radiasi yang diserap dipengaruhi oleh transmisivitas *cover* ( $\tau$ ) dan absortivitas dari plat ( $\alpha$ ) yang dari tabel (2.3) maka didapatkan data  $\tau$  sebesar 0,79 dan  $\alpha$  sebesar 0,98.

$$S = 1,01 \cdot \tau \alpha \cdot I_T = 1,01 \cdot 0,79 \cdot 0,98 \cdot 1019,5 = 797,189869 \text{ W/m}^2$$

#### 4.2.1.8 Koefisien konveksi pada kaca

Untuk mendapatkan koefisien konveksi pada udara di sekitar kaca bisa

didapatkan menggunakan persamaan  $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ .

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} = \frac{(69,1 + 29,6)}{2} = 49,35 \text{ } ^\circ\text{C} (322,5^\circ\text{K})$$

Setelah mendapatkan temperatur udara di sekitar kaca maka bisa didapatkan data *properties* dari udara dengan tabel *properties of air at atmospherec pressure* pada tabel (2.2)  $\nu = 1,702 \cdot 10^{-5}$ ,  $K = 0,02662$  dan  $Pr = 0,7255$

Bilangan Rayleigh untuk kaca penutup dengan perpindahan panas secara alami maka bisa didapat menggunakan persamaan (2.21).

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr = \frac{9,8 \cdot (1/322,5) \cdot (69,1 - 29,6) \cdot 0,3^3}{(1,702 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 0,7255 = 81166257,55$$

Dikarenakan permukaan yang dipanaskan mengadap ke atas dan aliran yang terjadi adalah laminar maka bilangan nusselt menggunakan persamaan (2.22).

$$Nu = 0,54 Ra^{1/4} = 0,54 \cdot 81166257,55^{1/4} = 64,94560492$$

Setelah mendapatkan bilangan Nu maka bisa dicari koefisien perpindahan panas konveksi dengan persamaan (2.24).

$$h_w = \frac{k}{L} Nu = \frac{0,02662}{0,3} \cdot 64,94560492 = 5,76284001 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.2.1.9 Koefisien konveksi pada saluran kolektor

Koefisien konveksi yang terjadi pada *cover* bagian bawah  $h_1$  dan  $h_2$  plat absorber dianggap sama karena terjadi pada satu saluran. Dari fluida yang didapatkan maka data *properties* dari udara dengan tabel *properties of air at atmospherec pressure* pada tabel (2.2)  $\nu = 1,608 \cdot 10^{-5}$ ,  $K = 0,02588$  dan  $Pr = 0,7282$

Dikarenakan perpindahan panas yang terjadi pada saluran dan secara paksa maka koefisien konveksi pada  $h_1$  dan  $h_2$  dapat di cari menggunakan persamaan (2.13).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{2,5 \cdot 0,08}{1,608 \cdot 10^{-5}} = 12437,81095$$

Tabel 4.4 Bilangan Reynolds

Variasi Jarak (cm)	Bilangan Reynolds
3 cm	4664,18
4 cm	6529,85
5 cm	7462,69

Untuk mendapatkan ukuran dari saluran maka bisa menggunakan persamaan (2.14).

$$D_h = \frac{4.a.b}{2(a+b)} = \frac{2.a.b}{a+b} = \frac{2.0,05.0,3}{0,05+0,3} = 0,08$$

Karena jenis aliran yang terjadi turbulen maka bilangan nusselt bisa didapatkan menggunakan persamaan (2.16).

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0,023. 12437,81095^{0.8} 0,7282^{0.4} = 38,23166982$$

Setelah mendapatkan bilangan nusselt maka bisa mencari koefisien konveksi dengan memasukkan ke persamaan (2.17)

$$h = \frac{k}{D} Nu = \frac{0,02588}{0,08} . 38,23166982 = 12,36794519 W/m^2\text{°C}$$

#### 4.2.1.10 Koefisien kehilangan panas atas

Untuk koefisien kehilangan panas atas bisa menggunakan persamaan (2.19)

$$U_t = \left( \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm}-T_a)}{(N+f)} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm}+T_a)(T_{pm}^2+T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p+0.00591 N h_w} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p-N}{\varepsilon_g}}$$

$$U_t = \left( \frac{1}{\frac{520 \left[ \frac{(74,6-29,6)}{74,6(1+1,61015283)} \right]^{-0,146407507} + \frac{1}{5,76284001}} + \frac{5,67.10^{-8}(74,6-29,6)(74,6^2+29,6^2)}{\frac{1}{0,03+0.00591.1.5,76284001} + \frac{2.1+1,61015283-1+0.133.0,03}{0,90}} \right)^{-1} = 2,558515623 W/m^2\text{°C}$$

Dimana dari definisi untuk f, C dan e bisa menggunakan persamaan di bawah ini

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w \cdot \varepsilon_p)(1 + 0.07866.N)$$

$$f = (1 + 0.089.5,76284001 - 0.1166.5,76284001.0,03)(1 + 0.07866.1) = 1,61015283$$

$$C = 520(1 - 0.000051.0^2) = 520$$

$$e = 0.430(1-100/74,6) = -0,146407507$$

#### 4.2.1.11 Koefisien kehilangan panas bawah

Koefisien kehilangan panas bawah dipengaruhi oleh konduktivitas bahan pada tabel (2.25) dan ketebalan bahan yang bisa didapat menggunakan persamaan.

$$U_b = \frac{k}{L} = \frac{0,055}{0,003} = 18,33333333 \text{ W/m}^2$$

#### 4.2.1.12 Mencari $h_r$

Koefisien perpindahan panas radiasi pada kolektor surya dipengaruhi oleh emisivitas plat dan *cover* dimana data emisivitas plat pada tabel 2.3 menunjukkan data emisivitas yang dilapisi cat hitam sebesar 90 dan emisivitas *cover* 0.90 dimana koefisien perpindahan panas radiasi bisa dicari menggunakan persamaan (2.18)

$$h_r = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}(74,6^2 + 69,1^2)(74,6 + 69,1)}{\frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,90} - 1} = 0,00251904/m^2\text{ }^\circ\text{C}$$

#### 4.2.1.13 Koefisien kehilangan panas total

Untuk mencari kehilangan panas total bisa menggunakan persamaan (2.12)

$$U_L = \frac{(U_b + U_t) + (h_1 h_2 + h_2 h_r) + U_b + U_t (h_1 h_2)}{h_1 h_r + h_2 + U_t + h_2 h_r + h_1 + h_2}$$

$$U_L = \frac{(18,3333 + 2,5585) + (12,3679 \cdot 12,3679 + 12,3679 \cdot 0,0025) + 18,3333 + 2,5585(12,3679 \cdot 12,3679)}{12,3679 \cdot 0,0025 + 12,3679 + 2,5585 + 12,3679 \cdot 0,0025 + 12,3679 + 12,3679}$$

$$= 14,6908357 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Tabel 4.5 Koefisien Kehilangan Panas Total

Koefisien Kehilangan Panas Total (UL)										
Variasi Jarak (cm)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
3 cm	10,07	10,19	10,27	10,37	10,47	10,56	10,71	10,83	10,98	11,08
4 cm	9,62	9,66	9,75	9,83	9,91	9,98	10,10	10,23	10,31	10,44
5 cm	9,52	9,50	9,56	9,63	9,68	9,76	9,89	9,99	10,17	10,27

#### 4.2.1.14 Faktor pelepasan panas

Untuk mencari faktor pelepasan panas bisa menggunakan persamaan

(2.25)

$$\begin{aligned}
 F_R &= F'F'' = 0,402882811 \cdot 0,998957683 \\
 &= 0,402462879 \\
 F' &= \frac{h_r h_1 + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \\
 F' &= \frac{0,0025 \cdot 12,3679 + 2,5585 \cdot 12,3679 + 12,3679 \cdot 0,0025 + 12,3679 \cdot 12,3679}{(2,5585 + 0,0025 + 12,3679)(18,3333 + 12,3679 \cdot 0,0025) - 0,0025^2} \\
 &= 0,402882811 \\
 F'' &= \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L F'} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p}\right) \right] \\
 F'' &= \frac{0,253575 \cdot 1,007}{0,09 \cdot 14,6908357 \cdot 0,402882811} \left[ 1 - \right. \\
 &\left. \exp\left(-\frac{0,09 \cdot 14,6908357 \cdot 0,402882811}{0,253575 \cdot 1,007}\right) \right] \\
 &= 0,998957683 \\
 \dot{m} &= \rho V A_c = 1.164 \cdot 2,5 \cdot 0,04 = 0,253575
 \end{aligned}$$

#### 4.2.1.15 Mencari energi berguna $Q_u$

Untuk mencari energi berguna bisa menggunakan persamaan (2.29)

$$\begin{aligned}
 Q_u &= A_c F_R [S - U_L (T_i - T_o)] \\
 Q_u &= 0,09 \cdot 0,402462879 \cdot [797,1896869 - 14,6908357 \cdot (29,6 - 33,6)] \\
 &= 39,05648724 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Energi Berguna

Variasi Jarak (cm)	Energi Berguna ( $Q_u$ )
3 cm	31,56
4 cm	29,91
5 cm	29,09

#### 4.2.1.16 Efisiensi kolektor surya pemanas udara

Untuk mencari efisiensi kolektor surya bisa menggunakan persamaan

(2.28)

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} 100 \% = \frac{39,05648724}{1019,5 \cdot 0,09} 100 \% = 42,56605879 \%$$

#### 4.2.1.17 Analisis Efisiensi Keseluruhan Sistem

Untuk mencari efisiensi keseluruhan sistem bisa menggunakan persamaan (2.30)

$$\eta_{total} = \frac{Q_u + P_e}{S_A} 100 \% = \frac{39,05648724 + 0,0135}{1019,5,0,09} 100 \% = 54,45515381 \%$$

Tabel 4.7 Efisiensi Total

Variasi Jarak (cm)	Efisiensi Total ( $\eta_{total}$ )
3 cm	44,00
4 cm	41,70
5 cm	40,56

#### 4.2.1.18 Voltage Density

Untuk mencari *voltage density* bisa menggunakan persamaan

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \times 1000 = \frac{0,15}{9,8} \times 1000 = 15,306122 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

Tabel 4.8 Voltage Density

Variasi Jarak (cm)	Voltage Density
3 cm	17,35
4 cm	16,16
5 cm	14,71

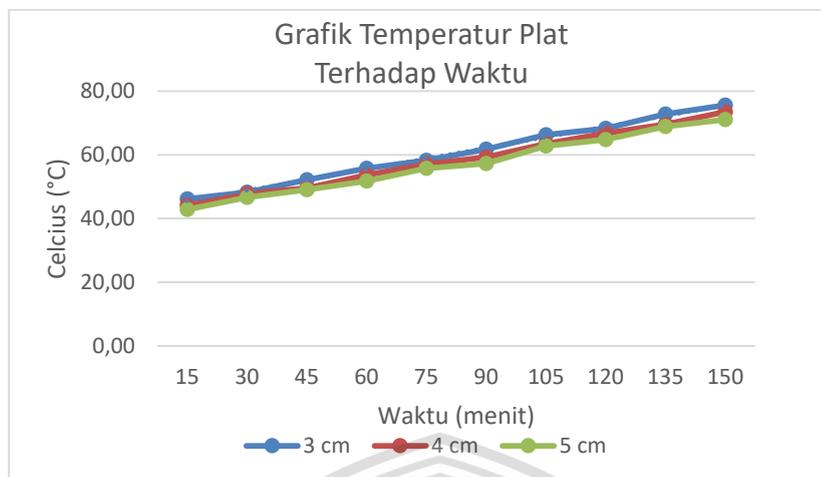
Tabel 4.9 Temperatur Plat

Temperatur Plat ( $^\circ\text{C}$ )										
Variasi Jarak (cm)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
3 cm	46,20	48,30	55,80	55,80	58,30	61,80	66,30	68,30	72,80	75,60
4 cm	44,20	47,90	49,60	53,70	57,10	59,30	63,50	66,80	69,60	73,50
5 cm	42,90	46,70	49,10	51,80	55,80	57,30	62,80	64,80	68,90	71,10

### 4.3 Hasil Analisis

Setelah dilakukan pengolahan pada data secara keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan analisis data yang telah diperoleh dengan tujuan untuk mengetahui suatu hal yang menjadi pengaruh dalam penelitian ini. Berikut kami sajikan hasil analisis berupa empat grafik dari hasil pengolahan data yaitu grafik Temperatur Plat, Laju Penyerapan Panas, *Voltage Density*, dan Efisiensi Keseluruhan Sistem beserta penjelasannya.

### 4.3.1 Temperatur Plat



Gambar 4.1 Grafik Temperatur Plat

Pada grafik 4.1 menunjukkan profil temperatur plat aluminium dari desain flat plate solar kolektor mengalami peningkatan yang cukup signifikan terhadap waktu dan jarak. Perbedaan suhu pada jarak 3 cm dengan 4 cm  $2,04^{\circ}\text{C}$  dan jarak 3 cm dengan 5 cm  $3,44^{\circ}\text{C}$ . Dari perbedaan suhu tersebut jarak 3 cm mengalami peningkatan suhu yang paling optimal, yang mana peningkatan temperatur ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : transmisivitas kaca, material plat, pelapisan warna hitam, variasi jarak, bilangan Reynolds.

Transmisivitas kaca merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan temperatur pada material konduktor panas, dimana semakin tipis kaca penutup maka akan semakin tinggi nilai transmisivitas kaca. Hal tersebut menyebabkan nilai transmisivitas kaca semakin tinggi dimana energi panas akan lebih cepat ditransmisikan menuju material konduktor panas, sehingga material konduktor panas tidak membutuhkan waktu lama untuk menampung panas dalam kapasitas yang relatif besar (Ankira E. N. Saputro, Ben V. Tarigan, 2016). Ketika material konduktor panas menampung energi panas dalam kapasitas yang relatif besar, maka temperatur material konduktor panas akan meningkat secara optimal.

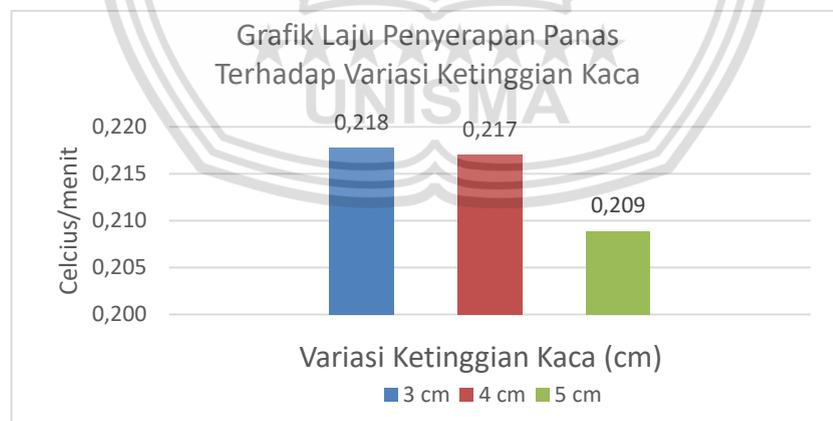
Faktor berikutnya adalah material konduktor penyerap panas, dimana material dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi dapat mempengaruhi optimasi peningkatan temperatur (Pertiwi et al., 2015). Kemampuan menghantarkan panas yang baik membuat energi panas tersalurkan dengan

maksimal. Selain itu ketebalan material konduktor panas juga berpengaruh terhadap peningkatan temperatur, dimana semakin tipis material konduktor panas, maka akan semakin cepat prosen penyaluran panas (Philip Kristanto & Yoe Kiem San, 2001).

Pelapis warna hitam juga memiliki pengaruh terhadap peningkatan temperatur material konduktor panas, dikarenakan warna hitam merupakan warna yang paling baik dalam hal penyerapan panas sehingga dapat meningkatkan temperatur material konduktor panas dengan optimal (Dwinta, 2016).

Faktor lainnya yaitu bilangan Reynolds, pada tabel 4.3 menunjukkan kenaikan bilangan Reynolds pada jarak 3 cm, 4 cm, dan 5 cm, . jarak 5 cm memiliki bilangan Reynolds terbesar. Nilai bilangan rerynolds dipengaruhi oleh kecepatan angin dan ukuran saluran pada kolektor, yang mana bilangan Reynolds mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ). Semakin tinggi nilai koefisien perpindahan panas konveksi, maka akan semakin besar nilai energi berguna ( $Q_u$ ) (Wirapraja & Dwiyantoro, 2014), hal tersebut berpengaruh pada peningkatan temperatur material konduktor panas dimana semakin besar nilai ( $Q_u$ ) yang diserap, makan temperatur material konduktor panas juga akan meningkat.

#### 4.3.2 Laju Penyerapan Panas



Gambar 4.2 Grafik Laju Penyerapan Panas

Pada grafik 4.2 menunjukan profil laju penyerapan panas dari desain flat plate solar kolektor memiliki perbedaan yang relatif kecil dari variasi jarak (3cm, 4cm, 5cm), dengan penurunan yang cukup signifikan dari jarak 3cm ke 5 cm, yaitu

sebesar 4%. Penyebab dari perbedaan laju penyerapan panas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain material plat, variasi ketinggian kaca, pelapisan warna hitam, dan bilangan Reynolds.

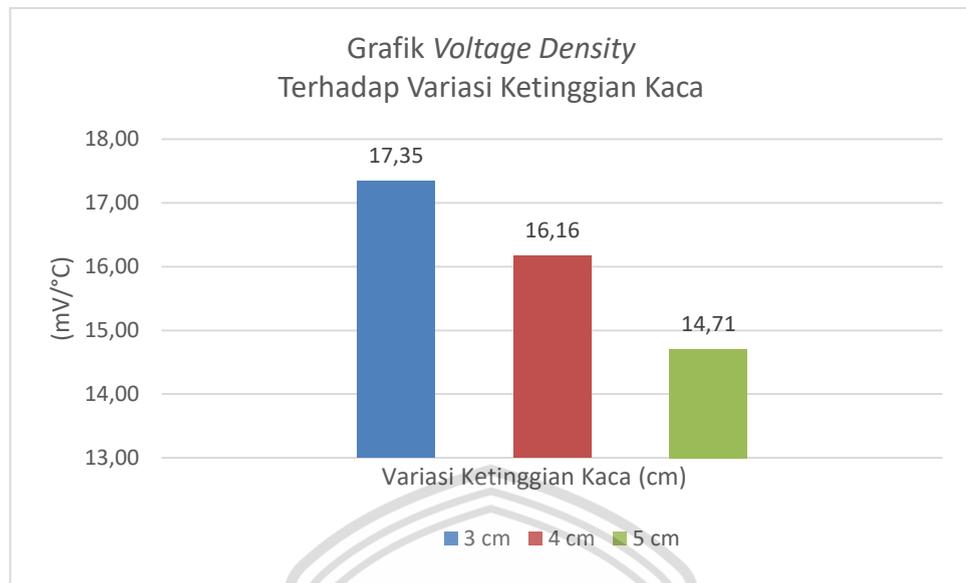
Material konduktor panas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju penyerapan panas, dimana material dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi dapat mempengaruhi optimasi peningkatan temperatur (Pertwi et al., 2015). Kemampuan menghantarkan panas yang baik membuat energi panas tersalurkan dengan maksimal. Selain itu ketebalan material konduktor panas juga berpengaruh terhadap peningkatan temperatur, dimana semakin tipis material konduktor panas, maka akan semakin cepat prosen penyaluran panas (Philip Kristanto & Yoe Kiem San, 2001).

Variasi ketinggian kaca sangat mempengaruhi laju penyerapan yang dihasilkan (Ekadewi Anggraini Handoyo, 2001), karena dengan perbedaan jarak maka ukuran saluran fluida juga akan berbeda, semakin besar ukuran saluran fluida maka semakin besar kehilangan panas yang terjadi hal ini terjadi karena fluida akan semakin banyak memasuki saluran yang memungkinkan kehilangan panasnya semakin besar.

Pelapis warna hitam juga memiliki pengaruh terhadap peningkatan temperatur material konduktor panas, dikarenakan warna hitam merupakan warna yang paling baik dalam hal penyerapan panas sehingga dapat meningkatkan temperatur material konduktor panas dengan optimal (Dwinta, 2016).

Faktor lainnya yaitu bilangan Reynolds, pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa bilangan reynolds mengalami peningkatan dari variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm, dimana bilangan Reynolds berfungsi untuk mengidentifikasi jenis aliran pada fluida, dimana jika angka bilangan Reynolds semakin besar maka koefisien kehilangan panas total juga semakin besar sehingga energi berguna ( $Q_u$ ) yang dihasilkan semakin kecil.

### 4.3.3 Voltage Density



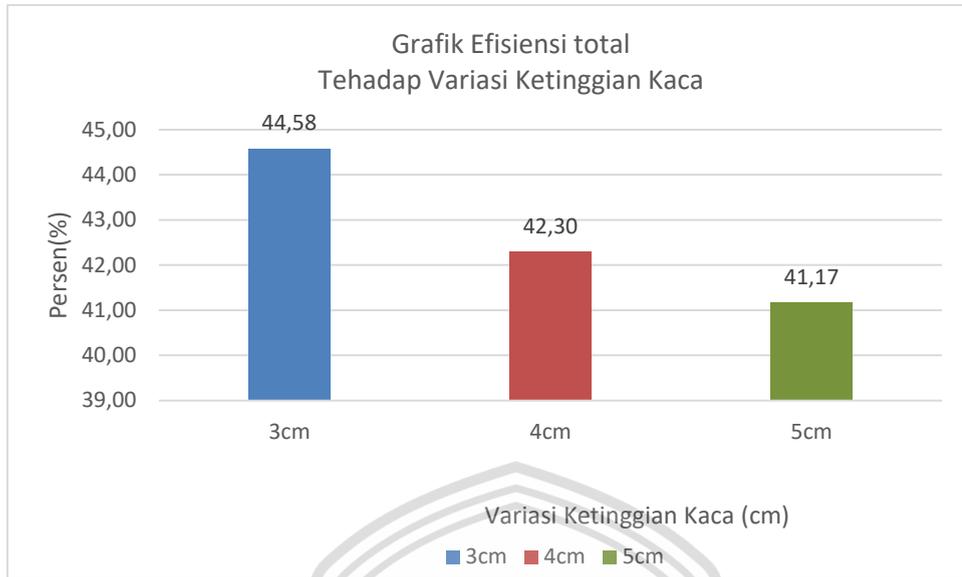
Gambar 4.3 Grafik *Voltage Density*

Pada grafik 4.3 menunjukkan *profil voltage density* pada desain *flat plate solar collector* memiliki perbedaan yang signifikan dari variasi ketinggian kaca (3cm,4cm,5cm). jarak 3cm memiliki voltage density paling optimal, dimana jarak 3cm memiliki perbedaan 7% dengan jarak 4cm, dan 15% dengan jarak 5cm. Beberapa faktor yang mempengaruhi voltage density adalah :

Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ), karena prinsip kerja Termoelektrik Generator adalah mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur pada kedua sisinya, yang mana jika semakin tinggi perbedaan temperatur maka semakin besar energi yang dapat dihasilkan (Voltase).

Faktor lainnya yaitu energi berguna ( $Q_u$ ), dimana energi berguna merupakan energi yang diserap oleh material konduktor panas, sehingga besar kecilnya nilai energi berguna akan mempengaruhi temperatur material konduktor panas, yang mana hal tersebut mengakibatkan besarnya perbedaan temperatur antara kedua sisi Termoelektrik Generator. Semakin besar nilai energi berguna maka akan semakin besar perbedaan temperatur yang dihasilkan.

#### 4.3.4 Efisiensi Total



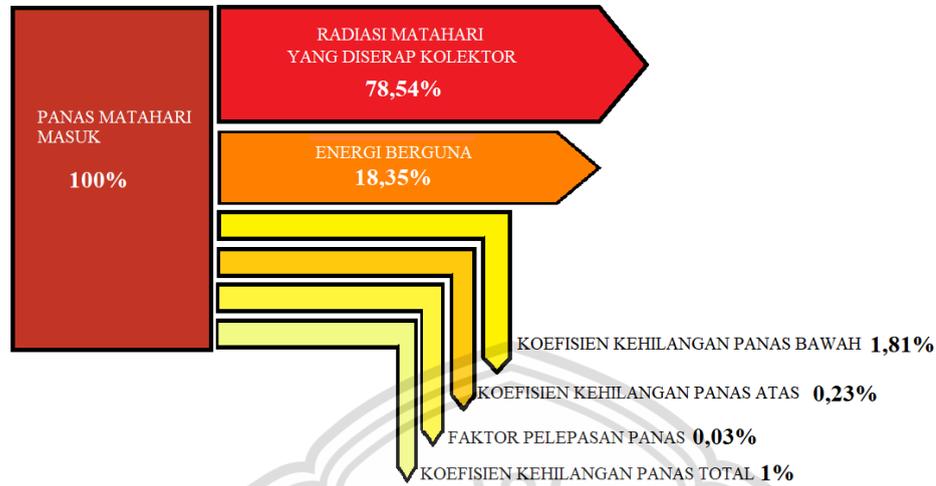
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Total

Pada grafik 4.4 menunjukkan profil efisiensi total pada desain *flat plate solar collector* memiliki perbedaan yang signifikan dari variasi ketinggian kaca (3cm,4cm,5cm). jarak 3cm memiliki efisiensi total paling optimal, dimana jarak 3cm memiliki perbedaan 5% dengan jarak 4cm, dan 8% dengan jarak 5cm. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi total adalah :

Energi berguna ( $Q_u$ ) memiliki pengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan, dimana energi berguna merupakan indikator optimasi dari efisiensi keseluruhan sistem pada kolektor surya, hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin tinggi energi berguna ( $Q_u$ ) maka akan semakin tinggi nilai efisiensi keseluruhan sistem ( $\eta_{total}$ ) pada desain *flat plate solar collector*. Selain itu, daya yang dihasilkan ( $P_e$ ) merupakan faktor lain yang mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem ( $\eta_{total}$ ), dimana ( $P_e$ ) merupakan hasil perkalian dari tegangan (V) dengan arus (I), sehingga dapat disimpulkan semakin besar tegangan dan arus maka akan semakin besar daya yang dihasilkan.

#### 4.4 Diagram Sankey

Berikut ini merupakan skema distribusi dan alokasi energi panas matahari dalam bentuk diagram sankey.



Gambar 4.5 Diagram Sankey  
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2024)

#### 4.5 Tabel Perbandingan Efisiensi Keseluruhan

Berikut merupakan tabel perbandingan Efisiensi Keseluruhan dari penggunaan material Tembaga, Aluminium, Kuningan, dan Seng dimana masing-masing material memiliki karakteristik yang berbeda.

Tabel 4.10 Perbandingan Efisiensi Keseluruhan

No	Material	Karakteristik	Efisiensi Keseluruhan
1	Tembaga	<ol style="list-style-type: none"> <li>Konduktivitas termal dan listrik tinggi</li> <li>Keuletan yang baik</li> <li>Mudah dibentuk dan dicetak</li> </ol>	31,16%
2	Aluminium	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ringan</li> <li>Tahan Korosi</li> <li>Konduktivitas Termal dan Listrik baik</li> <li>Sangat Mudah Dibentuk</li> </ol>	44,58%
3	Kuningan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Kuat</li> <li>Sangat mudah dibentuk</li> <li>Konduktivitas tergolong sedang</li> </ol>	44%
4	Seng	<ol style="list-style-type: none"> <li>Konduktivitas tergolong sedang</li> <li>Ulet dalam suhu tertentu</li> <li>Ketangguhan Rendah</li> </ol>	43,70%

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil dari profil temperatur pada desain *flat plate solar collector* dengan variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm ( $75,60^{\circ}\text{C}$ ,  $73,50^{\circ}\text{C}$ ,  $71,10^{\circ}\text{C}$ ), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variasi ketinggian kaca dengan penyerapan panas paling optimal yaitu 3 cm.
2. Hasil dari profil laju penyerapan panas pada desain *flat plate solar collector* dengan variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm ( $0,218^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ,  $0,217^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ,  $0,209^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa laju penyerapan panas yang paling optimal adalah pada variasi ketinggian kaca 3 cm.
3. Hasil dari profil *voltage density* pada desain *flat plate solar collector* dengan variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm ( $17,35 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ,  $16,16 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ,  $14,71 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *voltage density* yang paling tinggi adalah pada variasi ketinggian kaca 3 cm.
4. Hasil dari profil efisiensi keseluruhan sistem pada desain *flat plate solar collector* dengan variasi ketinggian kaca 3 cm, 4 cm, dan 5 cm ( $44,00\%$ ,  $41,70\%$ ,  $40,56\%$ ), dengan demikian dapat disimpulkan bahwa efisiensi keseluruhan sistem yang paling tinggi adalah pada variasi ketinggian kaca 3 cm.

#### 5.2 Saran

Saran yang diperoleh dari penelitian ini untuk penelitian berikutnya yaitu :

1. Sebaiknya menggunakan kolektor surya dengan ukuran dan jenis yang berbeda agar mendapatkan suhu panas dalam kapasitas lebih besar..
2. Untuk mendapatkan perbedaan suhu yang lebih besar, disarankan membuat variasi dari pendingin (*Heatsink*).

3. Agar mendapatkan *output* yang lebih besar, dapat dilakukan penambahan jumlah Termoelektrik Generator (TEG) sesuai dengan kapasitas luasan *heatsink* yang memungkinkan.



## DAFTAR PUSTAKA

- . R. (2017). Analisis Termal Kolektor Surya Tipe Plat Datar Dengan Fluida Kerja Etanol 96% Pada Sistem Solar Water Heater. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(4), 244. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i4.2063>
- Allen, D., Haugeto, R., Kajor, M., & Namazian, M. (2002). Small thermoelectric generators. *International Conference on Thermoelectrics, ICT, Proceedings, 2002-Janua(2)*, 424–426. <https://doi.org/10.1109/ICT.2002.1190351>
- Andrapica, G., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2017). Pengujian Thermoelectric Generator Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Sisi Dingin Menggunakan Air Bertemperatur 10 °c. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 14(2), 45–50. <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/3983/3867>
- Ankira E. N. Saputro, Ben V. Tarigan, M. J. (2016). Pengaruh Sudut Kaca Penutup dan Jenis Kaca terhadap Efisiensi Kolektor Surya pada Proses Destilasi Air Laut. *Lontar Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 3(2), 1–10. <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- Arfita, Y. D. (2019). Pemanfaatan energi surya sebagai suplai cadangan pada laboratorium elektro dasar di institut teknologi padang. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 2(3), 20–28.
- Arikundo, F. R., & Hazwi, M. (2014). Rancang Bangun Prototype Kolektor Surya Tipe Plat Datar untuk Penghasil Panas pada Pengering Produk Pertanian dan Perkebunan. *E-Dinamis*, 8(4), 1–23.
- Astawa, K., & Ngurah Putu Tenaya, I. G. (2022). Analisis performansi kolektor surya plat datar dengan diameter lubang sirip berbeda sebagai impinging jet. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 14(2), 49. <https://doi.org/10.24843/jem.2021.v14.i02.p03>
- Cimbala, Y. A. cengel and J. M. (2014). Fluid Mechanics; Fundamental and Application. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Issue Mi).
- Dwinta, F. A. dan T. M. (2016). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji eksperimen dengan menggunakan alat uji eksperimen untuk mendapatkan data hasil pengukuran . Adapun sesi uji yang. *Materi Dan Pembelajaran Fisika*, 6(1), 1–6.

- Dzulfikar, D., & Broto, W. (2016). *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. V, SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76. <https://doi.org/10.21009/0305020614>
- Ekadewi Anggraini Handoyo. (2001). Pengaruh Jarak Kaca Ke Plat Terhadap Panas Yang Diterima Suatu Kolektor Surya Plat Datar. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2),52–56.  
<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/15940>
- Ekonomi, J., Teknologi, M., Septiansari, D., & Handayani, T. (2021). Pengaruh Belanja Online Terhadap Perilaku Konsumtif pada Mahasiswa di Masa Pandemi Covid-19. *Teknologi*, 5(1), 53–65. <http://journal.lembagakita.org>
- Hendrawan, A., Lusiani, L., & Hendrawan, A. K. (2022). Desain Diameter Pipa secara Matematis pada Pembangkit Listrik Panas Laut (Oceans Thermal Energy Conversion). *Saintara : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 6(2), 138–142. <https://doi.org/10.52475/saintara.v6i2.177>
- Kim, H., Hong, J., Yoon, G., Kim, H., Park, K. Y., Park, M. S., Yoon, W. S., & Kang, K. (2015). Sodium intercalation chemistry in graphite. *Energy and Environmental Science*, 8(10), 2963–2969. <https://doi.org/10.1039/c5ee02051d>
- Kurnia, A. (2021). Simulasi Perhitungan Intensitas Radiasi Dan Energi Surya Dengan Turbo Pascal 5.5. *Teknik Elektronika Politeknik TEDC*, 15(3), 292–300.
- Latif, M., Hayati, N., & Dinata, U. G. S. (2015). Potensi Energi Listrik Pada Gas Buang Sepeda Motor. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 11(5), 163. <https://doi.org/10.17529/jre.v11i5.2957>
- Mainil, R. I., Andrapica, G., & Aziz, A. (2020). Pengaruh Laju Aliran Air Pendingin terhadap Kinerja Pembangkit Listrik berbasis Thermoelectric Generator (TEG). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 19(1), 36–41. <https://jst.ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/7623%0Ahttps://jst.ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/download/7623/6618>
- Pertiwi, P. K., Ristiana, D., & Isnaini, N. (2015). Uji Konduktivitas Termal pada Interaksi Dua Logam Besi ( Fe ) dengan 3 Variasi Bahan Berbentuk Silinder. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–4.
- Philip Kristanto, & Yoe Kiem San. (2001). Pengaruh Tebal Plat Dan Jarak Antar Pipa Terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar. *Jurnal Teknik Mesin*,

3(2), 47–51.

<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/15939>

Plutzer, M. B. B. and E. (2021). *No*

*主観的健康感を中心とした在宅高齢者における*

*健康関連指標に関する共分散構造分析*Title. 6.

Pradana, muhammad ady. (2014). Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Alumunium, Kuningan dan Seng. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 5(2), 40–51.

Purba, E. D., Kirom, M. R., & I, R. F. (2019). Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Panel Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2), 4977–4985.

Puspita, S. C., Sunarno, H., & Indarto, B. (2017). Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(2), 84. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i2.2748>

Putra, A. E., Rifky, R., & Fikri, A. (2019). Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 38. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2911>

Putra, A. P., Suprayogi, & Qurthobi, A. (2018). Studi Perhitungan GGL Output Generator Arus Searah Berdasarkan Ilustrasi Gerak Transversal Gelombang Laut. *E-Proceedings of Engineering*, 5(3), 5986–5992.

Putra, D., Yoesgiantoro, D., & Thamrin, S. (2020). Kebijakan Ketahanan Energi Berbasis Energi Listrik pada Bidang Transportasi Guna Mendukung Pertahanan Negara di Indonesia: Sebuah Kerangka Konseptual. *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 7(3), 658–672. <http://jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/nusantara/article/view/2011>

Septiadi, D., Nanlohy, P., Souissa, M., & Rumlawang, F. Y. (2009a). Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan. *Meteorologi Dan Geofisika*, 10(1), 22–28.

Septiadi, D., Nanlohy, P., Souissa, M., & Rumlawang, F. Y. (2009b). Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 10(1), 22–28. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.30>

Shieddieque, A. D., Nugraha, W. A., Mesin, S. T., Tinggi, S., & Wastukencana,

- T. (n.d.). *Perancangan Mold Set Komponen Handle Pintu Mobil Dengan Material Alumunium 6061 Mold Set Design Of Car Door Handle Components Using Material Alumunium 6061*.
- Sugiyanto, S. S. (2014). Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas Lpg Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator. *Teknologi*, 7, 100–105.
- Sya'rani D, T. M., Sara, I. D., & Hilma Sari, L. (2019). Pengaruh Heatsink Terhadap Kinerja Modul Surya. *Jurnal Nasional Komputasi Dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.32672/jnkti.v2i1.1051>
- Wahyu Maulana, B., Arkundato, A., Mulyono, T., Fisika, J., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Jember, U., & Kimia, J. (2023). Rancang Bangun Panel Sumber Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik Pada Galvalum Baja Ringan Design and Construction of Electrical Energy Source Panel Based on Thermoelectric Generators on Mild Steel Galvalume. *Jurnal ILMU DASAR*, 24(2), 113.
- Wirapraja, E., & Dwiyantoro, B. A. (2014). Studi Eksperimental Efektivitas Penambahan Annular Fins pada Kolektor Surya Pemanas Air dengan Satu dan Dua Kaca Penutup. *Teknik Pomits*, 3(2), B204–B209.
- Yunianto, B. (2008). Pengujian Perpindahan Panas Konveksi Pada Heat Sink Jenis Extruded. *Rotasi*, 10(1), 28. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/download/2423/2141>

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi penelitian



