

SKRIPSI

PENGARUH *ACTIVE TRACKING SYSTEM* PADA PEMBANGKIT DAYA TERMOELEKTRIK BERBASIS LENS FRESNEL DENGAN MEMANFAATKAN SINAR MATAHARI

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI IRHAM ROYANSYAH
D021 18 1344**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH *ACTIVE TRACKING SYSTEM* PADA PEMBANGKIT DAYA TERMOELEKTRIK BERBASIS LENS FRESNEL DENGAN MEMANFAATKAN SINAR MATAHARI

Disusun dan diajukan oleh

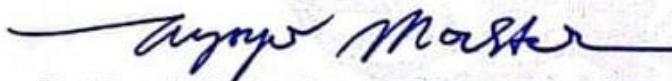
**Andi Irham Royansyah
D021 18 1344**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 Desember 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Andi Amijovo Mochtar, S.T., M.Sc.
NIP 19760216 201012 1 002



Prof. Dr. Ir. Zurvati Djafar, MT.
NIP 19680301 199702 2 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin., ST., MT.
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Andi Irham Royansyah

NIM : D021181344

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh *Active Tracking System* pada Pembangkit Daya Termoelektrik
Berbasis Lensa Fresnel dengan Memanfaatkan Sinar Matahari

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, Desember 2023

Menyatakan



METERAI
TEMPEL
BD2ALX081105683

Andi Irham Royansyah

ABSTRAK

ANDI IRHAM ROYANSYAH. *Pengaruh Active Tracking System pada Pembangkit Daya Termoelektrik Berbasis Lensa Fresnel dengan Memanfaatkan Sinar Matahari* (dibimbing oleh Andi Amijoyo Mochtar dan Zuryati Djafar)

Pemanasan global disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia terutama dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam), yang melepas karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya (yang dikenal sebagai gas rumah kaca) ke atmosfer. Jika kadar CO₂ terlalu tinggi akibat penggunaan bahan bakar fosil untuk energi, maka berbagai macam Energi Baru dan Terbarukan (EBT) harus dijadikan pilihan untuk mengurangnya dengan tetap memenuhi kebutuhan energi dunia. Salah satu contoh lain dari pengaplikasian EBT adalah *Thermoelectric Generator* (TEG) yang merupakan sebuah alat yang menggunakan efek Seebeck untuk mengonversi perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Pengaplikasian TEG sudah sangat berkembang saat ini, satu diantaranya adalah dipadukan bersama *solar concentrator* seperti lensa fresnel untuk memusatkan panas pada sisi panas dari TEG. Jika berbicara terkait radiasi panas matahari, intensitas paling maksimal adalah ketika bidang permukaan berada tegak lurus terhadap arah datang sinar matahari. Untuk itu, diperlukan sebuah perangkat *tracking system* agar bidang permukaan dapat tegak lurus terhadap sinar matahari dengan bantuan *solar tracker*. *Solar tracker* ini terbukti telah meningkatkan efisiensi dari solar panel hingga 81,68% dengan menggunakan dua sumbu sebagai poros putarannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh dari *active tracking system* pada efisiensi dari TEG. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua TEG yang menggunakan *solar tracker* dan pasif dengan variasi ketinggian lensa fresnel terhadap pelat kolektor. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan lensa fresnel pada variasi 15 cm dengan menggunakan *solar tracker* telah menghasilkan tegangan sebesar 0,047 V serta meningkatkan efisiensi rerata sebesar 38% jika dibandingkan tanpa menggunakan *solar tracker*.

Kata Kunci: Lensa Fresnel, *Solar Tracker*, *Thermoelectric Generator*, Sinar Matahari

ABSTRACT

ANDI IRHAM ROYANSYAH. *The Effect of Active Tracking System by Thermoelectric Power Plant Based on Fresnel Lens using Sunlight* (supervised by Andi Amijoyo Mochtar dan Zuryati Djafar)

Global warming is caused by various human activities, especially the combustion of fossil fuels (coal, petroleum and natural gas), which releases carbon dioxide (CO₂) and other gases (known as greenhouse gases) into the atmosphere. If CO₂ levels are too high due to the use of fossil fuels for energy, then various types of renewable energy must be an option to reduce it while still meeting world energy needs. Another example of the application of renewable energy is the Thermoelectric Generator (TEG) which is a device that uses the Seebeck effect to convert temperature differences into electrical energy. The applications of TEG have been very developed at this time, one of which is combining it with a solar concentrator such as a fresnel lens to concentrate heat on the hot side of the TEG. When talking about solar heat radiation, the maximum intensity is when the surface plane is perpendicular to the direction of incoming sunlight. For this reason, a tracking system device is needed so that the surface plane can be perpendicular to the sun's rays with the help of a solar tracker. This solar tracker has been proven to increase the efficiency of solar panels up to 81.68% by using two axes as the rotation axis. This research aims to analyze the influence of fresnel lenses and active tracking systems on the efficiency of TEG. The test was carried out by comparing two TEG's using a solar tracker and a passive one with variations in the height of the fresnel lens to the collector plate. This research shows that the use of a Fresnel lens at a variation of 15 cm using a solar tracker has produced a voltage of 0.047 V and increased average efficiency by 38% compared to without using a solar tracker.

Keywords: *Fresnel Lens, Solar Tracker, Thermoelectric Generator, Sunlight*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB i. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB ii. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lensa Fresnel	4
2.2 <i>Thermoelectric Generator</i>	5
2.2.1 Pengaplikasian <i>Thermoelectric Generator</i>	5
2.3 Kinerja <i>Thermoelectric Generator</i>	6
2.3.1 Efek Seebeck	7
2.3.2 Efek Peltier	7
2.4 Geometri Lintasan Matahari	8
2.5 Perpindahan Panas	9
2.5.1 Konduksi	10
2.5.2 Konveksi	11
2.5.3 Radiasi	12
2.6 <i>Solar Tracking System</i>	12
2.7 Konstruksi <i>Solar Tracking System</i>	13
2.7.1 <i>Tracking Algorithm</i>	13
2.7.2 <i>Control Unit</i>	14
2.7.3 <i>Positioning System</i>	14
2.7.4 <i>Sensing Device</i>	14
2.8 <i>Fan</i>	15
2.9 <i>Heat Sink</i>	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	17
3.3 Metode Penelitian	23
3.4 Metode Pengumpulan Data	23
3.5 Rencana dan Jadwal Penelitian	24
3.6 Skema Rancangan Instalasi Pengujian dan Sistem Pengukuran	25
3.7 Diagram Alir Penelitian	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29

4.1 Analisa Data Perhitungan	29
4.2 Pembahasan	31
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
Lampiran	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Thermoelectric Generator</i>	5
Gambar 2 Ilustrasi Efek Seebeck.....	7
Gambar 3 Ilustrasi Efek Peltier.....	8
Gambar 4 Skema Orbit Bumi terhadap Matahari.....	9
Gambar 5 <i>Solar Tracking Algorithm</i>	14
Gambar 6 Macam <i>Heat Sink</i>	16
Gambar 7 <i>Fan</i>	17
Gambar 8 <i>Heat Sink</i>	17
Gambar 9 <i>Thermoelectric Generator</i> (TEG).....	18
Gambar 10 Lensa Fresnel.....	18
Gambar 11 Sensor Cahaya.....	18
Gambar 12 Motor Servo.....	19
Gambar 13 Akrilik.....	19
Gambar 14 Modul National Instrument.....	19
Gambar 15 Termokopel.....	20
Gambar 16 Multimeter Digital.....	20
Gambar 17 Anemometer Digital.....	20
Gambar 18 Pelat Tembaga.....	21
Gambar 19 <i>DC Power Supply</i>	21
Gambar 20 Arduino Uno.....	21
Gambar 21 <i>Casing PC</i>	22
Gambar 22 <i>Solar Power Meter</i>	22
Gambar 23 Skema Pengujian (a), (b), dan (c).....	26
Gambar 24 Gambar Rancangan Alat.....	27
Gambar 25 Intensitas Matahari (Isun) Variasi Ketinggian Fresnel Menggunakan <i>Solar Tracker</i> dan Pasif.....	32
Gambar 26 Beda Temperatur (ΔT) Variasi Ketinggian Fresnel Menggunakan <i>Solar Tracker</i> dan Pasif.....	33
Gambar 27 Tegangan (V) Variasi Ketinggian Fresnel Menggunakan <i>Solar</i> <i>Tracker</i> dan Pasif.....	34
Gambar 28 Efisiensi (η) Variasi Ketinggian Fresnel Menggunakan <i>Solar Tracker</i> dan Pasif.....	35
Gambar 29 Panas yang Diserap (Q_h) Variasi Ketinggian Fresnel Menggunakan <i>Solar Tracker</i> dan Pasif.....	36
Gambar 30 Kecepatan Udara (v) Variasi Ketinggian Lensa Fresnel.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Konduktivitas Termal Material.....	11
Tabel 2 Rencana dan Jadwal Penelitian.....	24

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
TEG	<i>Thermoelectric Generator</i>
EBT	Energi Baru Terbarukan
DC	<i>Direct Current</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
T ₁	Temperatur Permukaan Sisi Atas Pelat Kolektor
T _h	Temperatur <i>Hot Side</i>
T _c	Temperatur <i>Cold Side</i>
T _L	Temperatur Lingkungan
α	Koefisien Seebeck
v	Kecepatan Udara
η	Efisiensi
I _{sun}	Intensitas Cahaya Matahari
I	Arus
Q _h	Kalor yang Diserap
P	Daya

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Alat Penelitian.....	41
Lampiran 2 Proses Perakitan Alat.....	42
Lampiran 3 Proses Instalasi Kabel.....	42
Lampiran 4 Proses Penyusunan Algoritma <i>Solar Tracker</i>	43
Lampiran 5 Proses Pengambilan Data.....	43
Lampiran 6 Pengambilan Data Perbandingan Temperatur Lingkungan (TL) terhadap Temperatur Permukaan Atas Pelat Kolektor (T1).....	44
Lampiran 7 Pengambilan Data Perbandingan Intensitas Matahari (Isun) terhadap Tegangan (V).....	45
Lampiran 8 Pengambilan Data Perbandingan Beda Temperatur (ΔT) terhadap Tegangan (V).....	46
Lampiran 9 Tabel Data Perbandingan Daya (P) dan Efisiensi (η).....	47
Lampiran 10 Tabel Data Perbandingan Kecepatan Udara (v) terhadap Tegangan (V).....	48

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Teriring salam dan do'a, semoga Allah SWT senantiasa mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, agar sentosa, sehat dan bahagia hingga tiba masanya, tatkala segala yang fana akan kehilangan substansi dan aksidennya. Lafaz syukur tidak henti-hentinya saya ucapkan, sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi yang telah ditetapkan oleh Universitas Hasanuddin sebagai salah satu bagian dari persyaratan yang perlu dipenuhi untuk meraih gelar sarjana.

Tak lupa, sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman yang penuh dengan kebodohan, hingga sampai sekarang ini, pada zaman yang penuh dengan kepandaian dan ilmu pengetahuan, meskipun banyak manusia dewasa kini yang kerap menggunakannya untuk memanfaatkan manusia lainnya.

Terakhir, sekaligus menutup bagian kata pengantar dari skripsi yang saya tulis, adalah serangkaian ucapan syukur dan do'a baik kepada para pihak yang tidak pernah bosan untuk membersamai saya dalam rangka meraih gelar sarjana. Tentu penyelesaian skripsi ini tidak akan berjalan dengan lancar tanpa upaya dari pihak-pihak yang ada. Oleh karena itu, saya mengucapkan syukur dan do'a baik kepada pihak yang terlibat, sebagai berikut:

1. Kepada Bapak Andi Saleh dan Ibu Jumiati, yang sudah menjadi manusia pilihan Allah untuk membesarkan anaknya dengan sangat baik, dengan harapan agar anak tersebut dapat menyebarkan kebaikan di muka bumi dengan bijaksana.
2. Kepada Saudara Andi Sahrul Akbarsyah, selaku kakak saya yang menjadi salah satu motivasi saya untuk menjadi lebih baik lagi.
3. Kepada keluarga besar Bapak Jubliadi Patangke, yang sudah mengizinkan saya untuk tinggal di kediamannya selama saya berkuliah.
4. Kepada Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc, selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan serta masukan yang telah diberikan dari penyusunan proposal sampai dengan penyusunan skripsi ini.

5. Kepada Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan segala bimbingan, arahan , serta masukan demi kelancaran penyusunan skripsi ini.
6. Kepada segenap civitas akademika Departemen Teknik Mesin FT-UH, atas segala bantuan dan pelayanan selama saya berkuliah.
7. Kepada Saudara Muhammad Rijal, yang telah kebersamaian saya selama proses pembuatan alat serta secara umum sudah bersama-sama melewati masa perjuangan.
8. Kepada segenap anak-anak di REACTOR 2018 yang senantiasa hadir dalam gundah gulana bangku perkuliahan, terkhusus kepada Saudara Nur Wahyudi Bakri, yang sudah menanggung kesalahan kami selama berkuliah, dan senantiasa mengawal sampai kami wafat pada waktunya masing-masing.
9. Kepada teman-teman seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
10. Kepada setiap manusia yang sediakala menetap di hati dan pikiran saya, yang dengan kehadirannya di muka bumi, membuat saya tidak pernah kehabisan motivasi untuk senantiasa memperbaiki diri dan menjadi lebih baik lagi.
11. Kepada diri saya sendiri, yang jika saya mengenang kembali, ada banyak momen yang berupaya untuk membuat saya hancur, tetapi lagi-lagi dapat tetap bertahan pada pendirian dan berani melakukan apa yang menurut saya benar untuk dilakukan tanpa memerdulikan omongan orang.

Demikian kata pengantar ini saya buat dengan penuh kesadaran dan perasaan. Kendati saya sadar bahwa skripsi ini sarat akan kekurangan, saya harap agar skripsi ini dapat menjadi manfaat bagi dunia pendidikan dan manusia secara keseluruhan. Besar harapan saya agar sebuah skripsi tidak memberatkan mahasiswa. **Sebab, bukankah skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai?**

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, Desember 2023

Penulis

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim sebagai implikasi pemanasan global, yang disebabkan oleh kenaikan gas-gas rumah kaca terutama karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4), mengakibatkan dua hal utama yang terjadi di lapisan atmosfer paling bawah, yaitu fluktuasi curah hujan yang tinggi dan kenaikan muka laut. Sebagai negara kepulauan, Indonesia paling rentan terhadap kenaikan muka laut. Telah dilakukan proyeksi kenaikan muka laut untuk wilayah Indonesia, hingga tahun 2100, diperkirakan adanya kenaikan muka laut hingga 1.1 m yang berdampak pada hilangnya daerah pantai dan pulau-pulau kecil seluas 90.260 km^2 [1].

Pemanasan global disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia terutama dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam), yang melepas karbondioksida (CO_2) dan gas-gas lainnya (yang dikenal sebagai gas rumah kaca) ke atmosfer. Atmosfer semakin penuh dengan gas-gas rumah kaca ini dan ia semakin menjadi insulator yang menahan lebih banyak pantulan panas matahari dari bumi [2].

Jika kadar CO_2 terlalu tinggi akibat penggunaan bahan bakar fosil untuk energi, maka berbagai macam Energi Baru dan Terbarukan (EBT) harus dijadikan pilihan untuk menguranginya dengan tetap memenuhi kebutuhan energi dunia [3]. Konsep *Renewable Energy* atau EBT ini adalah energi yang berasal dari berbagai spektrum, yang mana bersumber pada sesuatu yang sifatnya senantiasa beregenerasi setiap saat, seperti sinar matahari, angin, gelombang laut, panas bumi, juga biomassa [4].

Salah satu contoh lain dari pengaplikasian EBT adalah *Thermoelectric Generator* (TEG) yang merupakan sebuah alat yang menggunakan efek Seebeck untuk mengonversi perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Efek Seebeck adalah proses dimana panas berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin yang mana akan menghasilkan tegangan listrik yang berbanding lurus dengan besarnya perbedaan temperatur dari sisi panas dan sisi dingin. Sehingga demikian, TEG akan menghasilkan listrik DC selama terdapat

perbedaan temperatur. Semakin besar perbedaan temperatur, maka listrik yang akan dihasilkan pula akan semakin besar, serta efisiensinya untuk mengonversi panas menjadi listrik semakin meningkat [5].

Pengaplikasian TEG sudah sangat berkembang saat ini, satu diantaranya adalah dipadukan bersama *solar concentrator* seperti lensa fresnel untuk memusatkan panas pada sisi panas dari TEG. Dengan perbedaan temperatur yang signifikan, tegangan listrik yang dihasilkan pula akan meningkat. Untuk itulah, lensa fresnel hadir sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan perbedaan temperatur tersebut dengan memfokuskan panas dari sinar matahari agar terpusat pada TEG [6].

Seperti dijelaskan di paragraf sebelumnya, bahwa TEG mengandalkan panas matahari untuk meningkatkan temperatur di sisi panasnya. Energi yang terkandung pada matahari dan ditangkap oleh bumi diperkirakan sekitar $1,8 \times 10^{11}$ MW. Namun, permasalahan utama dari energi surya bersifat natural. Bumi yang senantiasa mengitari matahari membuat sudut sinar matahari yang mengarah ke bumi selalu berubah. Sedangkan radiasi sinar matahari akan maksimal apabila sudut tembaknya tegak lurus. Masalah seperti ini dapat diatasi menggunakan *solar tracker* atau pendeteksi sinar matahari, sehingga panas matahari tetap dapat maksimal sejak lewat terbit matahari hingga menjelang terbenam. *Solar tracker* ini terbukti telah meningkatkan efisiensi dari solar panel hingga 81,68% dengan menggunakan dua sumbu sebagai poros putarannya [7].

Berlandaskan penjelasan di atas, penulis bermaksud untuk mengajukan tugas akhir yang berjudul **“PENGARUH *ACTIVE TRACKING SYSTEM* PADA PEMBANGKIT DAYA TERMOELEKTRIK BERBASIS LENA FRESNEL DENGAN MEMANFAATKAN SINAR MATAHARI.”** agar kiranya dapat menjadi syarat kelulusan penulis, serta dapat menjadi referensi tambahan dalam pengembangan TEG yang lebih efisien di masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dapat dirumuskan beberapa masalah yang timbul, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *active tracking system* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan *Thermoelectric Generator* (TEG)?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *active tracking system* terhadap efisiensi *Thermoelectric Generator* (TEG)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisa pengaruh penggunaan *active tracking system* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan *Thermoelectric Generator* (TEG).
2. Menganalisa pengaruh penggunaan *active tracking system* terhadap efisiensi *Thermoelectric Generator* (TEG).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Termoelektrik yang digunakan adalah jenis yang ada di pasaran.
2. Waktu pengambilan data sejak pukul 08.00 WITA hingga 18.00 WITA.
3. Proses perakitan alat dilakukan di Laboratorium Robotika dan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Proses pengambilan data dilakukan di *Mechanical Building Rooftop*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui pengaplikasian lensa fresnel dan *active tracking system* pada TEG untuk menghasilkan listrik.
2. Menjadi referensi tambahan dalam pengembangan TEG yang lebih efisien di masa yang akan datang.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lensa Fresnel

Pada bidang aplikasi *concentrated solar energy*, lensa fresnel menjadi satu dari pilihan terbaik belakangan ini karena kelebihanannya seperti volumenya yang kecil, ringan, lebih ekonomis, dan tentunya lebih efektif untuk meningkatkan densitas energi dari matahari. Penggunaan pertama terkait lensa fresnel untuk mengumpulkan energi surya dilakukan ketika material plastik seperti *polymethylmethacrylate* (PMMA) tersedia pada tahun 1950an. Lensa fresnel digunakan sebagai *solar concentrator* karena lensa fresnel memiliki efisiensi optik yang tinggi, ringan, serta lebih ekonomis. Kemudian, lensa fresnel sudah digunakan pada penggunaan *solar concentrator* sejak 1960an, dan kemudian potensi pengembangan dari lensa fresnel pada *solar concentrator* masih berlanjut [8].

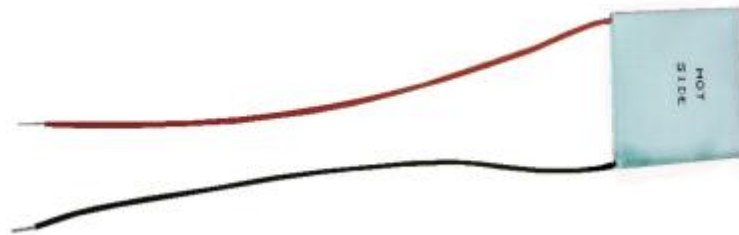
Lensa fresnel digunakan karena dapat memfokuskan cahaya lebih baik dari model lensa lainnya, seperti lensa cembung lainnya. Lensa fresnel memiliki karakteristik yang sama dengan lensa cembung lainnya sebagai lensa konvergen, namun karena ketebalannya lensa fresnel dapat memfokuskan panas lebih baik karena lebih tebal. Ini secara langsung dapat mereduksi ketahanan dari cahaya yang masuk melalui permukaan lensa, dengan demikian dapat memperkecil refraksi cahaya ke area selain titik fokusnya. Tripanagnostopoulos dkk pernah melakukan penelitian terkait penggunaan lensa fresnel, dengan menggunakan lensa fresnel yang berukuran sama, namun dengan ketebalan yang divariasikan sebesar 5 cm dan 10 cm dengan jarak fokal sekitar 42 cm [9]. Syed Zainal Abidin dan Sabarina Jaafar juga pernah melakukan penelitian terkait penggunaan lensa fresnel, dengan menggunakan lensa fresnel berukuran 53.54 x 83.82 cm, dengan jarak fokal sekitar 66.04 sampai 83.82 cm, kemudian menghasilkan temperatur maksimal di sisi panas sebesar 132°C [6].

Kaca pembesar adalah salah satu contoh paling sederhana dalam aplikasi lensa fresnel. Pada dasarnya, kaca pembesar bersifat positif yang membentuk bayangan semu (maya) yang tegak. Asumsikan jarak objek dan lensa serta

rasio pembesarannya diketahui, persamaan Newtonian dapat digunakan untuk mencari panjang fokus, sebagai berikut [10]:

2.2 *Thermoelectric Generator*

Thermoelectric Generator (TEG) yang merupakan sebuah alat yang menggunakan efek Seebeck untuk mengonversi perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Efek Seebeck adalah proses di mana panas berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin yang mana akan menghasilkan tegangan listrik yang berbanding lurus dengan besarnya perbedaan temperatur dari sisi panas dan sisi dingin. Sehingga demikian, TEG akan menghasilkan listrik DC selama terdapat perbedaan temperatur. Semakin besar perbedaan temperatur, maka listrik yang akan dihasilkan pula akan semakin besar, serta efisiensinya untuk mengonversi panas menjadi listrik semakin meningkat [5].



Gambar 1 *Thermoelectric Generator*

2.2.1 *Pengaplikasian Thermoelectric Generator*

Pengaplikasian TEG di bidang industri maupun bidang lainnya sudah berkembang seiring berjalannya waktu. Prinsip kerjanya yang di mana terdapat Efek Seebeck dan Efek Peltier, menjadikan TEG dapat diaplikasikan dalam banyak bidang, yaitu:

1. *Solar Thermoelectric Generator*

Prinsip dasarnya adalah menggunakan panas matahari sebagai sumber panas pada sisi panas TEG. Caranya dapat dengan mengarahkan sinar matahari ke TEG, dengan atau tanpa bantuan dari *optic concentrator*. TEG tersebut pula dapat digunakan sebagai *heat exchanger* pada sistem CHP [11].

2. *Space Exploration*

Industri antariksa telah menggunakan TEG sejak awal misi penjelajahan ke luar angkasa dengan mengombinasikan TEG dengan teknologi nuklir yang disebut dengan *Radioisotope Thermoelectric Generators* (RTGs). TEG pertama yang digunakan adalah jenis TEG (Pb-Te) yang digunakan pada satelit *US Navy Transit Navigation* pada tahun 1961. Satelit tersebut dilengkapi dengan *Space Nuclear Auxiliary Power* (SNAP-3) yang menghasilkan listrik dengan daya sekitar 2.7 W, namun dapat bekerja lebih dari 15 tahun. RTGs digunakan karena massanya yang ringan, serta dapat diandalkan. RTGs pula dapat beroperasi untuk beberapa tahun atau bahkan beberapa dekade setelah diluncurkan. RTGs dapat menyediakan listrik untuk misi yang cukup jauh di mana cahaya matahari tidak akan cukup untuk mengakomodasi panel surya [11].

3. *Photovoltaic and Thermoelectric Generators Combined*

Prinsip dasarnya adalah dengan menambahkan TEG pada sisi belakang PV untuk mengumpulkan panas yang hilang. Penelitian terkait ini sudah pernah dilakukan oleh R. Bjork pada tahun 2015, di mana penelitian tersebut menggunakan model analisa untuk empat macam PV yang berbeda. Penurunan performa PV dengan penambahan TEG terlihat lebih cepat jika dibandingkan dengan peningkatan daya yang dapat diproduksi TEG, yang mana dikarenakan oleh rendahnya efisiensi dari TEG [11]. Untuk itulah, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan performa dari PV agar daya yang dihasilkan dapat meningkat.

2.3 Kinerja *Thermoelectric Generator*

TEG memiliki beberapa prinsip kerja untuk menghasilkan energi listrik maupun mengonversi energi listrik menjadi energi termal. Beberapa prinsip kerja yang digunakan disebut dengan Efek Seebeck dan Efek Peltier.

2.3.1 Efek Seebeck

Peningkatan temperatur pada sensor yang tersusun dari resistor platinum, *integrated-circuit* sensor temperatur dan termokopel yang berdasarkan dari efek termoelektrik, ditemukan pada tahun 1821 oleh Seebeck. Jika dua semikonduktor (a) dan (b) digabung bersama pada sisi panas dan perbedaan temperatur dipertahankan antara sisi panas dan sisi dingin, maka rangkaian terbuka tersebut akan menimbulkan tegangan listrik. Efek tersebut, dinamakan dengan Efek Seebeck setelah ditemukan oleh T.J Seebeck (1770-1831), dan dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut [12]:

$$V = \alpha * (T_h - T_c) \quad (1)$$

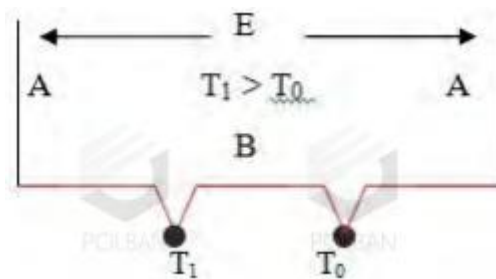
Keterangan :

V = Beda Potensial (V)

α = Koefisien Seebeck (V/K)

T_h = Temperatur Sisi Panas (K)

T_c = Temperatur Sisi Dingin (K)



Gambar 2 Ilustrasi Efek Seebeck

2.3.2 Efek Peltier

Pada tahun 1834 J. Peltier (1785-1845) menemukan bahwa ketika arus listrik dialirkan pada sambungan di antara kedua logam, terdapat panas yang diserap dan juga dilepaskan dari dan/atau ke lingkungan. Fenomena ini disebabkan oleh energi termal yang dihasilkan oleh arus listrik. Rasio arus listrik pula akan berbeda bergantung dengan material yang digunakan. Oleh sebab itu, ketika arus listrik melewati sambungan, energi termal pula akan diserap atau dilepaskan pada sambungan, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [12]:

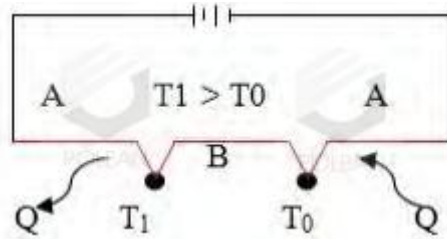
$$q = \emptyset * I \quad (2)$$

Keterangan :

q = Kalor Peltier (W)

$\emptyset$ = Koefisien Peltier (V)

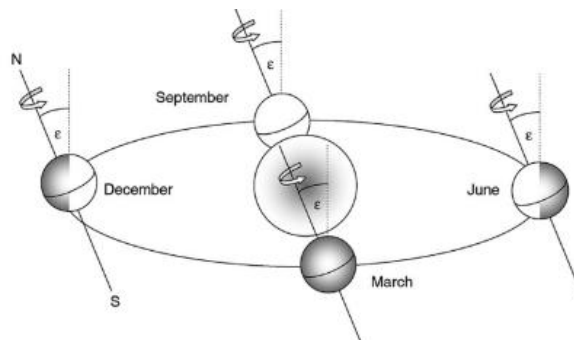
I = Arus Listrik (A)



Gambar 3 Ilustrasi Efek Peltier

2.4 Geometri Lintasan Matahari

Bumi mengorbit matahari dengan lintasan yang hampir sirkular dengan jarak tempuh rata-rata sekitar 150 juta kilometer. Sumbu rotasi dari bumi tidak tegak lurus, melainkan terdapat sudut kemiringan dari rotasi bumi yaitu sekitar 23.441° terhadap bidang normal dari lintasan orbit bumi [7]. Ini menyebabkan lintasan matahari terhadap bumi tidak benar-benar dalam garis lurus atau yang biasa disebut garis khatulistiwa. Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.4, di mana pada bulan maret matahari akan berada tepat pada garis khatulistiwa, kemudian pada bulan juni matahari akan bergeser ke sisi utara bumi, lalu pada bulan september akan kembali pada garis khatulistiwa, dan pada bulan desember matahari akan bergeser ke sisi selatan bumi. Siklus ini akan berlangsung secara terus-menerus, dan dinamakan dengan gerak semu matahari.



Gambar 4 Skema Orbit Bumi Terhadap Matahari

Sudut jam matahari adalah sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur karena rotasi pada porosnya sebesar 15° perjam, dimana sebelum jam 12.00 nilai sudut akan bernilai negatif sedangkan setelah jam 12.00 nilai sudut akan bernilai positif. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut [13]:

$$\omega = (t_s - 12) * \frac{360}{24} \quad (3)$$

Keterangan:

t_s = Waktu (jam)

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

Sudut deklinasi adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, dimana nilai sudut akan bernilai positif apabila berada di garis lintang utara dan bernilai negatif apabila berada di garis lintang selatan. Secara matematis, dapat ditulis sebagai berikut [13]:

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right) \quad (4)$$

Keterangan:

δ = Sudut deklinasi ($^\circ$)

N = Menyatakan nomor urut hari dalam satu tahun

23.45° = Besar sudut inklinasi Bumi (sudut antara sumbu rotasi dengan bidang orbit matahari)

2.5 Perpindahan Panas

Panas adalah sebuah bentuk energi yang dapat dipindahkan dari satu sistem ke sistem yang lainnya sebagai hasil dari perbedaan temperatur antara kedua sistem. Kemudian, prinsip ilmu yang membahas terkait dengan laju dari perpindahan energi ini disebut dengan perpindahan panas. Kita dapat menentukan nilai perpindahan panas untuk sistem apapun dengan menggunakan analisis termodinamika. Alasannya adalah sebab termodinamika berfokus pada nilai perpindahan panas sebagai sistem yang berjalan dari keadaan equilibrium menuju sistem lainnya, serta tidak memberikan indikasi terkait dengan berapa lama proses tersebut akan berjalan [14].

2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas dari partikel yang memiliki energi lebih tinggi ke partikel yang memiliki energi lebih rendah sebagai hasil dari interaksi antara partikel tersebut. Konduksi dapat terjadi pada partikel yang bersifat padat, cair, maupun gas. Pada partikel gas dan cair, konduksi terjadi akibat tumbukan atau difusi dari molekul yang akibat pergerakannya yang acak. Pada partikel padat, konduksi terjadi akibat kombinasi dari getaran molekul dan perpindahan energi oleh elektron bebas. Sebagai contoh, kaleng minuman dingin yang berada pada ruangan yang hangat, pada akhirnya akan mengikuti temperatur ruangan sebagai hasil dari perpindahan panas dari ruangan ke minuman, melalui kaleng aluminium dengan konduksi. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut [14]:

$$Q_{cond} = k * A * \left(\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \right) \quad (5)$$

Keterangan:

Q_{cond} = laju aliran kalor konduksi (W)

k = konduktivitas termal (Wm*K)

A = luas permukaan (m^2)

T_1 = temperatur tinggi (K)

T_2 = temperatur rendah (K)

Δx = ketebalan (m)

Konduktivitas termal merupakan koefisien laju perpindahan panas melalui satuan ketebalan dari suatu material per satuan luas per satuan beda temperatur. Konduktivitas termal pula merupakan nilai kemampuan dari suatu material untuk menghantarkan panas. Nilai konduktivitas termal yang tinggi, menandakan bahwa material tersebut merupakan konduktor yang baik, sedangkan nilai konduktivitas termal yang rendah mengindikasikan bahwa material tersebut merupakan konduktor yang buruk (insulator). Perlu diketahui pula bahwa material yang merupakan konduktor listrik yang baik, pula merupakan konduktor panas yang baik, seperti tembaga dan perak. Adapun nilai dari

konduktivitas termal beberapa material dapat dilihat pada Tabel 2.1, sebagai berikut [14]:

Tabel 1 Konduktivitas Termal Material

Material	Konduktivitas Termal (W/m . °C)
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminium	237
Iron	80,2
Glass	0,78
Brick	0,72
Human Skin	0,37

2.5.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas di antara permukaan padat yang berbatasan dengan zat cair maupun gas yang bergerak, dan termasuk dalam efek kombinasi dari konduksi dan pergerakan fluida. Semakin cepat pergerakan fluida, maka semakin besar pula laju pergerakan kalor konveksi. Tanpa kehadiran dari pergerakan fluida yang berjumlah besar, perpindahan panas di antara permukaan padat yang berbatasan dengan fluida adalah murni perpindahan panas konduksi. Konveksi terbagi menjadi dua, yaitu konveksi paksa dan konveksi natural. Perbedaan utamanya terdapat pada adanya gaya eksternal yang bekerja untuk mempercepat pergerakan fluida. Perpindahan panas konveksi, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut [14]:

$$Q_{conv} = h * A * (T_s - T_f) \quad (6)$$

Keterangan:

Q_{conv} = laju aliran kalor konveksi (W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

A = luas permukaan (m^2)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_f = temperatur fluida (K)

2.5.3 Radiasi

Radiasi adalah emisi energi oleh partikel dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau foton sebagai hasil dari perubahan konfigurasi elektron dari atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan energi dengan proses radiasi tidak membutuhkan media. Faktanya bahwa perpindahan energi melalui proses radiasi adalah perpindahan panas tercepat (paka kecepatan cahaya) dan tidak mengalami masalah bahkan pada ruang hampa sekalipun. Proses inilah yang bekerja pada perpindahan energi dari matahari ke bumi. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut [14]:

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (7)$$

Keterangan:

Q_{rad} = laju aliran kalor radiasi (W)

ε = emisivitas (01)

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

A = luas permukaan (m^2)

T_s = temperatur permukaan (K)

T_{surr} = temperatur sekitar (K)

2.6 Solar Tracking System

Solar tracking system adalah sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi gerak lintas matahari. Ini terbukti telah meningkatkan efisiensi dari solar panel hingga 81,68% dengan menggunakan dua sumbu sebagai poros putarannya (Suneetha Racharla dkk, 2017). *Solar tracker* pertama

diperkenalkan pada tahun 1962 oleh Finster, yang mana masih manual. Lalu satu tahun kemudian, Saavedra memperkenalkan mekanisme baru dengan menggunakan kontrol elektronik otomatis [15].

2.7 Konstruksi *Solar Tracking System*

Mekanisme utama dari *solar tracking system* terdiri dari *tracking algorithm*, *control unit*, *positioning system*, dan *sensing devices* [7].

2.7.1 *Tracking Algorithm*

Tracking algorithm berfungsi untuk menentukan sudut yang mana akan menentukan posisi dari *solar tracker*. Ada dua macam algoritma, *astronomical algorithm* dan *real-time light intensity algorithm*. *Astronomical algorithm* adalah sebuah algoritma yang bersifat matematis dan berdasarkan referensi astronomi. Sedangkan *real-time light intensity algorithm* berdasarkan analisa langsung dari intensitas cahaya matahari [7].

Pembelajaran terkait transformasi geometri mencakup dari refleksi, translasi, dan rotasi. Siswa diikutsertakan dan difokuskan pada apa yang dapat mereka observasi, tidak hanya sistem matematis abstrak seperti pada pembelajaran geometri Euclidean [16].

Transformasi geometri rotasi merupakan sebuah transformasi yang dilakukan dengan menghubungkan titik ke titik lainnya dengan cara memutarnya terhadap sumbu (0,0) dengan sudut putar yang tertentu dengan searah jarum jam maupun berlawanan. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut [17]:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (8)$$

Keterangan:

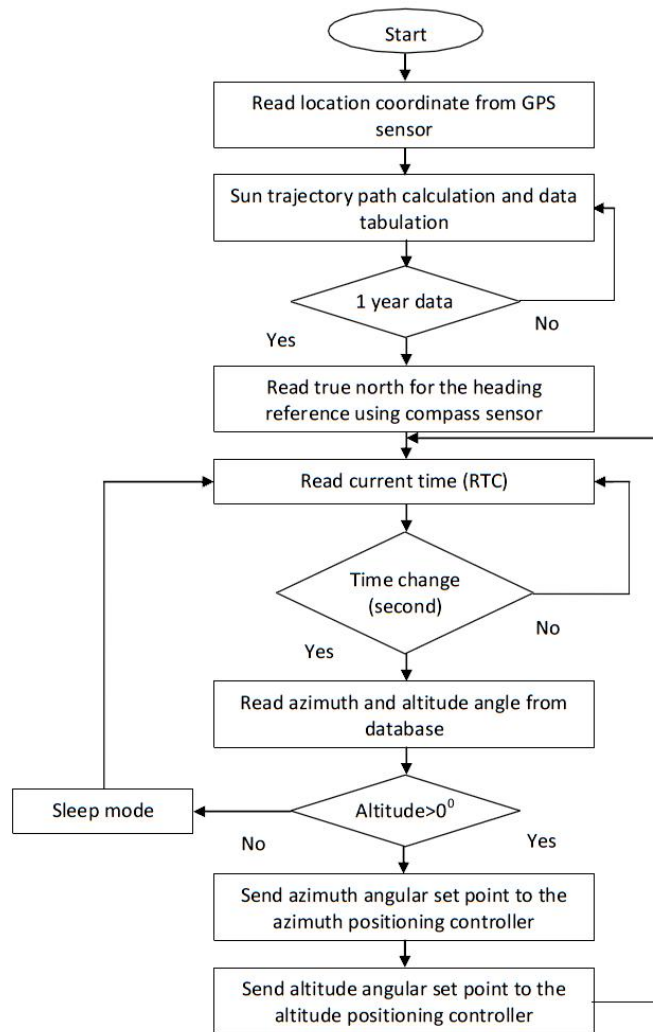
x = titik koordinat awal sumbu x (horizontal)

y = titik koordinat awal sumbu y (vertikal)

x_1 = titik koordinat setelah transformasi sumbu x (horizontal)

y_1 = titik koordinat setelah transformasi sumbu y (vertikal)

α = sudut rotasi ($^\circ$)



Gambar 5 *Solar Tracking Algorithm*

2.7.2 Control Unit

Unit kontrol berfungsi untuk menjalankan *tracking algorithm* dan mengatur posisi serta mekanisme kerja *solar tracker* [7].

2.7.3 Positioning System

Positioning system bekerja untuk menjalankan *tracking device* agar tepat menghadap pada matahari pada sudut yang sudah ditentukan. Sistem yang bekerja dapat bersifat elektrik maupun hidrolik [7].

2.7.4 Sensing Device

Sensing device adalah sekumpulan sensor dan perhitungan yang berfungsi untuk menganalisa kondisi sekeliling, intensitas cahaya pada

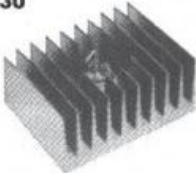
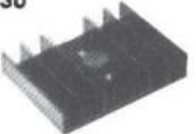
real-time light intensity algorithm, dan sudut kemiringan dari *solar tracker* [7].

2.8 Fan

Sebuah kipas yang berputar pada kecepatan yang konstan (*fixed rpm*) akan mengantarkan udara yang bervolume tetap berapapun ketinggian dan tekanannya. Namun, laju aliran massa dari udara akan lebih rendah apabila terjadi pada posisi yang tinggi sebagai hasil dari densitas udara yang lebih rendah pada ketinggian tersebut. Sebagai contoh, temperatur atmosfer udara akan menurun lebih dari 50% pada ketinggian 6000 m jika dibandingkan pada permukaan laut. Ini berarti, kipas akan mengantarkan separuh dari massa udara pada ketinggian tersebut pada kecepatan dan temperatur yang sama, konsekuensinya adalah temperatur pada pendingin udara akan meningkat dua kali lipat. Ini dapat menyebabkan masalah serius pada perlengkapan elektronik apabila tidak dilakukan tindakan pencegahan yang tepat [14].

2.9 Heat Sink

Cara alternatif untuk meningkatkan luas permukaan adalah dengan memasang permukaan tambahan yang disebut dengan *fin* yang terbuat dari material yang sangat konduktif seperti aluminium. Permukaan *fin* dibuat dengan memasang, menempel, maupun melapisi permukaan dengan lembaran baja tipis. *Fin* meningkatkan laju perpindahan panas dari suatu permukaan dengan mengekspos permukaan yang lebih luas untuk konveksi dan radiasi. *Fin* yang banyak ditemukan pada perlengkapan elektronik yang berfungsi sebagai sistem pendinginan disebut dengan *heat sink*. Beberapa bentuk geometri dari *heat sink* dapat dilihat pada Gambar 2.6 [14].

HS 5030		$R = 0.9^{\circ}\text{C/W}$ (vertical) $R = 1.2^{\circ}\text{C/W}$ (horizontal) Dimensions: 76 mm × 105 mm × 44 mm Surface area: 677 cm ²
HS 6065		$R = 5^{\circ}\text{C/W}$ Dimensions: 76 mm × 38 mm × 24 mm Surface area: 387 cm ²
HS 6071		$R = 1.4^{\circ}\text{C/W}$ (vertical) $R = 1.8^{\circ}\text{C/W}$ (horizontal) Dimensions: 76 mm × 92 mm × 26 mm Surface area: 968 cm ²
HS 6105		$R = 1.8^{\circ}\text{C/W}$ (vertical) $R = 2.1^{\circ}\text{C/W}$ (horizontal) Dimensions: 76 mm × 127 mm × 91 mm Surface area: 677 cm ²
HS 6115		$R = 1.1^{\circ}\text{C/W}$ (vertical) $R = 1.3^{\circ}\text{C/W}$ (horizontal) Dimensions: 76 mm × 102 mm × 25 mm Surface area: 929 cm ²
HS 7030		$R = 2.9^{\circ}\text{C/W}$ (vertical) $R = 3.1^{\circ}\text{C/W}$ (horizontal) Dimensions: 76 mm × 97 mm × 19 mm Surface area: 290 cm ²

Gambar 6 Macam *Heat Sink*