

**UNJUK KERJA *THERMAL RECEIVER TUBE* PADA
PARABOLIC DISH COLLECTOR DENGAN
*TRACKING SYSTEM***

SKRIPSI

Oleh:

SHIFA QANA LAILA

2115021010



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

**UNJUK KERJA *THERMAL RECEIVER TUBE* PADA
PARABOLIC DISH COLLECTOR DENGAN
*TRACKING SYSTEM***

Oleh:

Shifa Qana Laila

NPM 2115021010

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

**UNJUK KERJA *THERMAL RECEIVER TUBE* PADA
PARABOLIC DISH COLLECTOR DENGAN
*TRACKING SYSTEM***

OLEH
SHIFA QANA LAILA

Pemanfaatan energi surya melalui *Parabolic Dish Collector* (PDC) menjadi alternatif untuk menghasilkan energi panas bersuhu tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik perpindahan panas dan efisiensi termal receiver tube tembaga berbentuk spiral pada PDC dengan tracking system single axis dan double axis. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan mengukur intensitas radiasi matahari, temperatur fluida masuk dan keluar, temperatur permukaan receiver, serta temperatur lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tracking system double axis mampu meningkatkan temperatur permukaan receiver hingga $\pm 133^{\circ}\text{C}$, laju perpindahan panas maksimum sekitar $\pm 670\text{ W}$, dan efisiensi termal mencapai $\pm 27\%$. Temuan ini membuktikan bahwa receiver spiral dengan tracking double axis memberikan kinerja termal yang lebih optimal dan berpotensi diterapkan pada sistem pemanas air skala kecil.

Kata kunci: *Parabolic Dish Collector, receiver spiral, laju perpindahan panas, efisiensi termal, tracking system.*

ABSTRACT

THERMAL PERFORMANCE OF A RECEIVER TUBE IN A PARABOLIC DISH COLLECTOR WITH A TRACKING SYSTEM

By

SHIFA QANA LAILA

Utilization of solar energy through Parabolic Dish Collector (PDC) is an alternative to produce high-temperature heat energy. This study aims to analyze the heat transfer characteristics and thermal efficiency of a spiral-shaped copper tube receiver on a PDC with a single-axis and double-axis tracking system. Testing was carried out experimentally by measuring the intensity of solar radiation, inlet and outlet fluid temperatures, receiver surface temperature, and ambient temperature. The results showed that the use of a double-axis tracking system was able to increase the receiver surface temperature by up to $\pm 133^{\circ}\text{C}$, the maximum heat transfer rate was around $\pm 670\text{ W}$, and the thermal efficiency reached $\pm 27\%$. These findings prove that a spiral receiver with double-axis tracking provides more optimal thermal performance and has the potential to be applied to small-scale water heating systems.

Keywords: Parabolic Dish Collector, spiral receiver, heat transfer rate, thermal efficiency, tracking system.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul skripsi : UNJUK KERJA THERMAL RECEIVER
TUBE PADA PARABOLIC DISH
COLLECTOR DENGAN MENGGUNAKAN
TRACKING SYSTEM

Nama mahasiswa : Shifa Qana Laifa

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021010

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197002021998031004

Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.

NIP. 197112142000121001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

NIP. 197408162000121001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

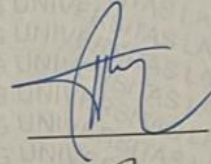
Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

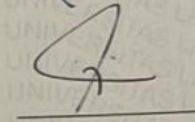
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

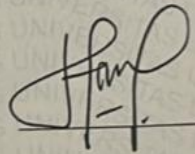
Ketua Penguji : Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.



Anggota Penguji : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.



Penguji Utama : Dr. Harmen, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skipsi : 22 Januari 2026

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa : Shifa Qana Laila
Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021010
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “ Unjuk Kerja Thermal Receiver Pada Parabolic Dish Collector Dengan Menggunakan Tracking System ” adalah hasil karya ilmiah saya sendiri yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana pada Universitas Lampung. Skripsi ini tidak mengandung karya atau tulisan orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali yang telah disebutkan secara jelas dalam kutipan dan daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Lampung.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan saya bersedia menanggung segala akibat yang ada, apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, 02 Februari 2026



Shifa Qana Laila

2115021010

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Shifa Qana Laila dilahirkan di Sidorejo, Lampung Selatan pada tanggal 17 Februari 2003. Penulis merupakan anak ke delapan dari delapan bersaudara dari Bapak Ginang dan Ibu Zubaidah. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Al-Khairiyah pada tahun (2008-2009), kemudian dilanjutkan menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 5 Sidorejo (2009-2015), SMPN 1 Sidomulyo (2015-2018) dan SMAN 1 Sidomulyo (2018-2021). Selama menjalani pendidikan SMA, penulis aktif dalam organisasi internal sekolah seperti Jurnalistik dan Klub Fisika. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, Penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Sekretaris Bidang Penelitian dan Pengembangan pada periode 2022/2023 dan pada periode 2023/2024 penulis menjabat sebagai Ketua Bidang Penelitian dan Pengembangan. Penulis menjalankan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Lebak Peniangan, Kec. Rebang Tangkas, Kab. Way Kanan pada awal Januari – Februari 2024. Pada tahun 2024 penulis berkesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PLTU UNIT, Provinsi Lampung Selatan dengan mengambil topik **“Analisis Pengaruh Jumlah Tube Terhadap Efektivitas Kinerja Kondensor N-7600-1 Unit 1 Tipe Shell And Tube Di PT. PLN Nusantara Power UP Sebalang”**. Pada tahun 2024 Penulis melakukan penelitian di bidang Material Penyimpanan Energi Termal atau Energi Terbarukan dengan judul **“Unjuk Thermal Receiver Tube Pada Parabolic Dish Collector Dengan Tracking System”** dibawah bimbingan Bapak Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. serta Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T., sebagai pembahas.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

-Al-Baqarah: 286-

“Kemarin sudah berlalu. Besok belum tiba. Hari ini masih belum diketahui”

-Yoo Mi ji-

“Mencintai diri sendiri lebih sulit dibandingkan mencintai seseorang”

-Shifa Qana Laila-

HALAMAN PERSEMBAHAN



Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Sholawat serta salam selau tercurahkan kepada Nabiallah Nabi Muhammad SAW

KARYA TULIS INI SAYA PERSEMBAHKAN KEPADA

Ibunda dan Ayahanda Tercinta

Yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasiku, memberikan semangat dan doa yang tiada henti-hentinya selalu menyertai. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, serta pengorbanan tanpa hentinya yang tidak akan pernah bisa penulis balas sepenuhnya. Segala pencapaian ini adalah buah dari doa dan usaha kalian

Kakak dan Abang saya terutama Sutikno dan Setiawan yang selalu memberikan semangat, dukungan motivasi dan finansial serta doa yang menyertai saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021

Serta

Almamater Tercinta Universitas Lampung

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan nikmat-Nya kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“UNJUK KERJA *THERMAL RECEIVER TUBE* PADA *PARABOLIC DISH COLLECTOR* DENGAN *TRACKING SYSTEM*”**. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan bantuan baik secara materi maupun motivasi. Hal tersebutlah yang sangat memotivasi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Nafrizal, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan arahan selama dibangku perkuliahan.
5. Bapak Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian Tugas

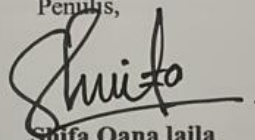
Akhir ini.

8. Seluruh Dosen, Staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Terimakasih tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta saya yakni Ibunda Zubaidah yang dengan segala pengorbanan, kerja keras, dan kasih sayang tulusnya selalu mendukung saya dalam setiap langkah. Dan Almarhum Ayahanda tercinta, Ginang, yang meskipun telah berpulang ke rahmatullah, namun doa, nasihat, perjuangan, serta keteladanan beliau menjadi sumber kekuatan dan motivasi terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan skripsi ini. Skripsi ini penulis persembahkan sebagai bentuk bakti dan penghormatan kepada kedua orang tua saya.
10. Sutikno dan Setiawan, seseorang yang darahnya ikut mengalir dalam tubuh saya, terimakasih yang tak terhingga untuk kakak saya. Sosok yang sudah membantu penulis dalam materi penulis hingga meraih gelar Sarjana Teknik. Dan juga kepada Kakak kandung saya lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang telah mendukung penulis selama masa perkuliahan hingga meraih gelar Sarjana Teknik
11. Saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Zylana Wahyu Amalia atas segala bantuan dan dedikasi yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
12. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2021 khususnya Zylana Wahyu Amelia, Anggita Dwi Marshanda, dan Hanifa Nurjanah Iskandar, yang telah kebersamai, memberi motivasi dan semangat selama perkuliahan .
13. Teman-teman KKN Pening-angan, Dio, Dapit Kur, Kidung, Shafa, Dessy dan Anna yang telah menjadi tempat cerita dan selalu memberi dukungan serta motivasi kepada penulis selama ini. Penulis berharap ikatan persahabatan ini tidak akan pernah terputus sampai kapanpun dan selalu saling mendukung satu sama lain.
14. Seluruh pihak yang tak dapat saya sebutkan satu persatu yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan skripsi ini.
15. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat

membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya.

Bandar Lampung, 02 Februari 2026

Penulis,


Shifa Qana laila
NPM. 2115021010

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Energi Baru dan Terbarukan.....	6
2.2 Energi Surya.....	7
2.3 Kolektor Surya.....	8
2.3.1 Kolektor Surya Plat Datar.....	9
2.3.2 <i>Concentrating Collectors</i>	9
2.3.3 <i>Evacuated Tube Collector</i>	10
2.4 <i>Consentrated Solar Power</i> (CSP).....	10
2.4.1. <i>Parabolic Trough Collector (PTC)</i>	11
2.4.2. <i>Linear Fresnel Relfector (LFR)</i>	13
2.4.3. <i>Parabolic Dish Collector (PDC)</i>	14
2.5 <i>Parabolic Dish Collector (PDC)</i>	15
2.5.1 Prinsip Dasar <i>Parabolic Dish Collector</i>	16
2.6 <i>Solar Receiver Thermal</i>	18
2.6.1 <i>Receiver</i> eksternal.....	19
2.6.2 <i>Receiver</i> berongga.....	20
2.6.3 <i>Receiver</i> volumetrik.....	21
2.7 Kinerja Termal.....	22
2.8 Efisiensi Energi Termal.....	24
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	26

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.1.1 Tempat penelitian	26
3.1.2 Waktu Penelitian	26
3.1.3 Diagram Alur Penelitian	26
3.2 Solar Receiver	28
3.3 Skema Installasi Dan Pengujian Eksperimen	29
3.4 Alat dan Bahan	31
3.5 Prosedur penelitian	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Pengambilan Data	37
4.2 Temperatur Fluida Kerja	38
4.3 Laju Aliran Massa	41
4.3.1 Laju Aliran Massa <i>Single Axis</i>	41
4.3.2 Laju Aliran Massa Double Axis	43
4.4 Laju Perpindahan Panas	45
4.5 Efisiensi Termal	51
4.5.1 Efisiensi Termal <i>Single Axis</i>	51
4.5.2 Efisiensi Termal Double Axis	55
V. PENUTUP	60
5.1 Simpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prototipe parabolic trough collector.....	12
Gambar 2. 2 Linier fresnel reflector.....	14
Gambar 2. 3 Parabolic dish collector	14
Gambar 2. 4 Desain skematik bagian penting PDC	16
Gambar 2. 5 Skema pemantulan cahaya dari konsentrasi ke receiver	17
Gambar 2. 6 a) elemen dasar receiver tabung, (b) receiver tabung eksternal	20
Gambar 2. 7 Macam-macam bentuk receiver berongga	21
Gambar 2. 8 Receiver volumetric	22
Gambar 3. 1 Diagram alur pengujian.....	27
Gambar 3. 2 Solar receiver	29
Gambar 3. 3 Skema Pengujian.....	30
Gambar 3. 4 Instalasi pengujian.....	30
Gambar 3. 5 Parabolic dish collector	32
Gambar 3. 6 Solar power meter SPM-1116SD	33
Gambar 3. 7 Temperture recorder	34
Gambar 3. 8 Probe thermocouple	35
Gambar 3. 9 Dinamo motor MY1016.....	36
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Temperatur Terhadap Irradiasi Single Axis	38
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Temperatur Terhadap Irradiasi Double Axis...	39
Gambar 4. 3 Grafik Laju Aliran Massa Berdasarkan Temperatur Single Axis.....	42
Gambar 4. 4 Grafik Laju Aliran Massa Berdasarkan Temperatur Double Axis	44
Gambar 4. 5 Grafik Laju Aliran Massa Berdasarkan Temperatur Double Axis	46
Gambar 4. 6 Grafik Laju Aliran Massa Berdasarkan Irradiasi Double Axis	48
Gambar 4. 7 Grafik Efisiensi Termal Berdasarkan Irradiasi Single Axis	52
Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Termal Berdasarkan Temperatur Permukaan Double Axis.....	53
Gambar 4. 9 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Irradiasi Double Axis	55

Gambar 4. 10 Grafik Efisiensi Termal Berdasarkan Temperatur Permukaan Double Axis.....	57
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Efisiensi Thermal	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Ukuran Solar Receiver.....	28
Tabel 3. 2 Spesifikasi Parabolic Dish Collector.....	31
Tabel 3. 3 Spesifikasi Linear Actuator	33
Tabel 3. 4 Spesifikasi Temperature Recorder dan Probe Thermocouple	34
Tabel 3. 5 Spesifikasi Dinamo Motor	35
Tabel 3. 6 Pengambilan parameter pada PDC dengan tracking system.....	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4. 1 Pengambilan Data Dengan Tracking System Single Axis	37
Tabel 4. 2 Pengambilan Data Dengan Tracking System Single Axis	37

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi global telah meningkat beberapa dekade terakhir akibat dari pertumbuhan industri. Ketergantungan global terhadap bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam sekarang ini meningkat pesat sehingga seiring berjalannya waktu energi fosil semakin lama semakin berkurang dan habis. Oleh karena itu, manusia dituntut untuk mencari energi alternatif baru dan terbarukan yang bersih dan terjangkau untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat (Barlev dkk, 2011). Salah satu solusi yang dapat dimanfaatkan secara efektif dan efisien untuk mengatasi krisis energi khususnya energi fosil adalah energi surya. Ketersediaan energi surya atau radiasi matahari yang berlimpah diprediksi tidak akan habis dalam jangka waktu yang lama sehingga energi surya dapat dijadikan sebagai energi alternatif.

Salah satu karakteristik penting dari sebuah *receiver thermal* adalah kemampuannya untuk menyerap energi surya yang dipantulkan secara maksimal dan mengirim ke fluida kerja yang mengalir di dalam *receiver* dengan kehilangan panas paling sedikit. Kinerja sistem ini sering berubah karena beragamnya kondisi lingkungan seperti suhu udara sekitar, intensitas penyinaran matahari, dan kecepatan angin pada siang hari (Karimi dkk., 2018). Di sisi lain, parameter operasional dan struktural, seperti: laju perpindahan panas dan suhu aliran massa masuk fluida, geometri dan dimensi *receiver*, serta sifat optik sebagai reflektivitas, absorptivitas, dan emisivitas dinding *receiver* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kinerja termal penerima.

Loni dkk, (2020) meneliti *solar receiver* berbentuk kubus, silinder dan hemispherical dengan PDC. *Receiver* hemispherical menggunakan nanofluida meningkatkan kinerja termal sekitar 12%. Efisiensi termal dari *solar receiver* berbentuk kubus adalah sekitar 65,1%. Sedangkan penelitian oleh Bellos dkk, (2019) yang meneliti optik dan kinerja termal dengan beragam bentuk *receiver* menjelaskan bahwa dibandingkan dengan sistem *receiver* silinder, persegi panjang, hemispherical dan kerucut, desain *solar receiver* berbentuk silinder kerucut menghasilkan efisiensi termal sebesar 67,95% pada 300°C.

Avargani dkk, (2020) meneliti analisa optik dan termal PDC dengan *receiver* berongga dengan dasar spiral, dimana *receiver* bekerja dengan baik dibawah fluks matahari yang tidak merata pada kondisi iklim berangin yang menunjukkan bahwa kesalahan kemiringan permukaan PDC mempunyai pengaruh besar terhadap distribusi dan konsentrasi fluks matahari pada dinding *receiver*. Eteraf dkk, (2021) menunjukkan kinerja termal meningkat 11,92% menggunakan *receiver* berongga dengan dilapisi kaca. Kursun (2019) meneliti sirip berbentuk sinusoidal dan menemukan bahwa suhu maksimum yang dicapai meningkat dari sekitar 66°C menjadi 164°C. Perubahan fokus *receiver* berongga meningkatkan suhu air panas sekitar 20°C.

Zheng dkk., (2020) mempelajari konveksi alami dengan menambah panjang dan penambahan jumlah sirip paduan aluminium yang menyatakan bahwa penambahan jumlah sirip dapat meningkatkan efisiensi termal karena memiliki waktu tinggal fluida yang lebih lama. D'Souza dkk., (2023) meneliti tentang efisiensi eksergi *microchanell solar receiver* dengan berbagai struktur tipe sirip plat ringkas yang berbeda menyatakan bahwa konfigurasi sirip persegi panjang berlubang dan polos memiliki efisiensi eksergi tertinggi masing-masing 59,21% dan 58,80%. Sinha and Gulhane (2021) meneliti *receiver* rongga tiga kumparan dan PDC menyimpulkan bahwa konveksi bertanggung jawab hingga 97% kehilangan panas.

Thungsuk dkk., 2023 menggunakan *single-axis tracking* dan *two-axis tracking* dengan daya masing-masing yang disediakan sebesar 183,12 Wh dan 199,79 Wh. Akibatnya, produksi energi dari *one-axis tracking sytem* dan *one-axis tracking system* ditemukan masing-masing 16,71% dan 24,97% . Dengan demikian, hasil teknik *sun tracking* pada lima sudut posisi lebih rendah konsumsi energi dibandingkan sun tracking system sepanjang masa. García-Quilachamin dkk., 2021 menganalisis penggunaan *two-axis solar tracker system* dengan mempertimbangkan beberapa parameter pada saat penellitian seperti waktu, tegangan, radiasi matahari, suhu, radiasi ultraviolet, kemiringan sudut, dan titik mata angin. Efisien yang diberikan panel surya diperoleh rata-rata sebesar 15,34% diantara panel surya silikon monokristalin.

Bedasarkan uraian diatas, sebagian besar penelitian yang sudah dilakukan dalam literatur hanya membahas kinerja termal dari *receiver* berongga dengan beragam bentuk yang sulit dibuat dan memerlukan biaya yang tinggi. Dalam penelitian ini model *receiver* menggunakan *tube flat* arah aliran spiral diusulkan dengan jalur aliran yang lebih baik dan waktu tinggal fluida yang lebih lama. Studi eksperimental ini berfokus menyelidiki termodinamika dari *receiver tube flat* arah aliran spiral untuk meningkatkan jalur aliran, waktu tinggal fluida, pertukaran panas dan geometri *receiver* yang mudah dibuat. Pada penelitian ini menggunakan fluida untuk dianalisis kinerja dari *parabolic dish collector*. Parameter yang diteliti adalah bilangan koefisien perpindahan panas, dan efisiensi termal.

1.2. Tujuan

1. Mengetahui karakteristik perpindahan panas yang terjadi pada *thermal tube receiver* berbentuk spiral di *parabolic dish collector*.
2. Menganalisa efisiensi termal *parabolic dish collector*.

1.3. Batasan Masalah

1. Penelitian berfokus pada *receiver*
2. Material *tube* yang digunakan adalah tembaga
3. Fluida yang digunakan air
4. Menggunakan PDC dengan *tracking system*
5. Pengujian dilakukan dengan kondisi matahari yang cerah

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan dilakukannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar dari *parabolic dish collector*, *solar receiver*, dan kinerja termal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisikan tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan serta alur tahapan pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil perhitungan dan pembahasan analisis data yang telah diperoleh saat maupun setelah pengujian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan mengenai kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber referensi yang didapatkan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir terhadap penulisan, penyusunan, dan penyelesaian.

LAMPIRAN

Lampiran yang disediakan berupa data-data pelengkap laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Baru dan Terbarukan

Energi merupakan sumber daya yang dapat digunakan untuk berbagai proses, seperti listrik, bahan bakar, energi mekanik dan panas. Energi selalu berasal dari sumber energi, sumber energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan energi secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi. Sumber energi merupakan sebagian dari sumber daya alam yang meliputi minyak dan gas bumi, batu bara, air, panas bumi, gambut, biomassa, dan sebagainya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat dimanfaatkan sebagai energi.

Energi baru merujuk pada bentuk energi yang dihasilkan oleh teknologi baru, yang dapat berasal dari sumber energi terbarukan maupun tidak terbarukan. Ini termasuk energi yang belum banyak dimanfaatkan secara luas dan masih dalam tahap pengembangan, seperti gasifikasi batu bara atau hidrogen. Energi baru sering kali melibatkan inovasi teknologi yang memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang sebelumnya tidak digunakan secara efisien. Energi terbarukan berasal dari proses alam yang terus dan dapat diperbaharui dan berkelanjutan, jadi disebut terbarukan karena berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Energi terbarukan juga sudah pasti berasal dari alam karena tersedia dalam jangka waktu yang lebih lama dan siklus waktu yang lebih singkat. Beberapa jenis energi terbarukan, termasuk energi panas bumi, energi surya, energi angin, dan energi air, dihasilkan dan diubah melalui proses yang dikenal sebagai pembangkit (Augustone & Pamungkas, 2020)

Energi baru dan terbarukan (EBT) akan menjadi pengganti energi fosil yang akan habis dalam waktu dekat. Energi berbasis biaya (EBT) termasuk energi panas bumi, air, angin, bioenergi, energi arus laut, energi nuklir, energi surya, dan energi laut. Penggunaan EBT dapat membantu menjaga lingkungan, mendukung pembangunan berkelanjutan, dan meningkatkan ketahanan energi nasional (Al Hakim, 2020).

Energi baru terbarukan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, tidak mencemari lingkungan, serta tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Energi ini bersumber dari proses alami yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan panas bumi (geothermal). Energi baru didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan melalui teknologi inovatif, baik dari sumber terbarukan maupun non-terbarukan, sedangkan energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara berkelanjutan (Hamdah, 2019).

2.2 Energi Surya

Energi surya termasuk dalam kategori energi baru dan terbarukan. Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang tengah menjadi fokus pengembangan di tingkat global. Penggunaan ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, yang ketersediaannya terus menurun setiap tahun. Di Indonesia, potensi energi surya sangat besar karena berada di garis khatulistiwa. Menurut Badan Pusat Statistik tahun 2024 Provinsi Lampung sendiri terletak pada koordinat $103^{\circ} 40' - 105^{\circ} 50'$ Bujur Timur dan $6^{\circ} 45' - 3^{\circ} 45'$ Lintang Selatan secara astronomi. Kondisi ini memungkinkan Indonesia menerima sinar matahari secara konsisten sepanjang tahun.

Energi surya merupakan energi yang berasal dari radiasi sinar dan panas yang dihasilkan oleh matahari. Radiasi ini dihasilkan melalui reaksi fusi

nuklir yang terjadi di inti matahari, dimana energi dilepas dalam bentuk foton dan merambat ke bumi melalui ruang angkasa. Matahari menghasilkan total energi sebesar $3,8 \times 10^{20}$ MW, setatar dengan 63 MW/m^2 pada permukaannya. Dari jumlah tersebut, energi radiasi yang mencapai bumi sekitar $1,7 \times 10^{14}$ kW. Energi surya dapat diubah menjadi berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik tenaga surya, kompor surya, dan teknologi lainnya yang mendukung kebutuhan manusia (Asrori dkk., 2014).

Energi surya memiliki beberapa kelebihan yang luar biasa seperti sifat ramah lingkungan, tidak menghasilkan polusi, dapat diandalkan, tidak memerlukan pembelian, dan tidak akan habis. Namun, energi surya memiliki kelemahan yang mana intensitasnya yang rendah dan tidak selalu konstan. Ketersediaan energi surya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Ketika cuaca berawan atau hujan, jumlah energi matahari yang mencapai permukaan bumi menjadi terbatas. Sebaliknya, pada cuaca cerah intensitas energi matahari yang diterima bumi meningkat secara signifikan dan memungkinkan pemanfaatan yang lebih optimal.

2.3 Kolektor Surya

Kolektor surya di definisikan sebagai alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi panas dengan cara menyerap energi radiasi dari radiasi matahari sebagai sumber utamanya dan menghasilkan fluida kerja bertemperatur tinggi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan (Kumar dkk. 2024). Secara umum terdapat tiga jenis kolektor surya yang diklasifikasikan kedalam *solar thermal collector system* dan juga memiliki korelasi dengan pengklasifikasikan kolektor surya berdasarkan dimensi dan geometri dari *receiver* yang dimilikinya dengan penjelasan sebagai berikut:

2.3.1 Kolektor Surya Plat Datar

Sebuah kolektor surya plat datar terdiri dari permukaan “hitam” yang menyerap radiasi matahari dan kemudian dipindahkan ke fluida. Penutup tembus cahaya (kaca) berfungsi mengurangi efek radiasi dan konveksi yang hilang ke atmosfer. Pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan dan diisolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan (Kristanto dan San, 2001).

Sebuah kolektor surya plat datar terdiri dari plat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dan pipa yang mengalirkan cairan. Bagian atas kolektor surya terdiri dari satu atau lebih penutup tembus cahaya, yang biasanya terbuat dari kaca. Energi radiasi matahari melewati penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh plat penyerap, yang diterima oleh plat penyerap selanjutnya ditransmisikan ke pipa-pipa pembawa cairan. Ketebalan plat penyerap dan jarak antar pipa kolektor, atau efisiensi sirip kolektor, adalah dua parameter yang memengaruhi unjuk kerja kolektor.

2.3.2 *Concentrating Collectors*

Kolektor pemekatan biasanya terdiri dari penerima dan konsentrator yang membantu menyalurkan iradiasi matahari dalam jumlah besar ke penerima. Konsentrasi memungkinkan pengoperasian pada tingkat suhu tinggi, serta pengurangan kehilangan panas karena kecilnya area penerima. Biasanya, tabung yang dievakuasi adalah digunakan sebagai penerima untuk mencapai kehilangan termal minimum dalam pengoperasian tinggi suhu. Teknologi ini digunakan pada suhu yang lebih tinggi 100°C atau 150°C dimana teknologi datar (kolektor pelat datar dan tabung evakuasi kolektor) tidak dapat beroperasi.

2.3.3 *Evacuated Tube Collector*

Evacuated tube collectors (ETC) merupakan jenis kolektor surya yang memanfaatkan tabung kaca berisi vakum untuk mengonversi energi matahari menjadi energi panas. Sistem ini terdiri dari serangkaian tabung kaca tertutup yang dirancang untuk mengelola dan memaksimalkan penyerapan panas secara efisien. Berbeda dengan kolektor surya konvensional, ETC menggunakan mekanisme vakum didalam tabung kaca untuk meminimalkan kehilangan panas, sehingga mampu mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi dalam menghasilkan energi panas untuk aplikasi pemanasan air atau udara.

Parabola melalui kolektor surya adalah kolektor surya pilihan dan efisien yang menyimpan radiasi terkonsentrasi energi dari matahari. Palung parabola digunakan untuk memantulkan dan memusatkan radiasi matahari pada sumbu tetap, dan kolektor surya mengubah energi radiasi yang masuk menjadi energi panas

2.4 *Consentrated Solar Power* (CSP)

Concentrated Solar Power (CSP) adalah teknologi yang memanfaatkan energi matahari dengan cara mengonsentrasikan cahaya pada suatu media untuk diubah menjadi energi panas. Energi panas tersebut kemudian dapat dimanfaatkan dalam sistem pembangkit listrik. Teknologi CSP menggunakan panel, yang dipasang pada titik fokus dan berfungsi sebagai pemantul sinar matahari ke penerima. Sistem CSP terdiri dari beberapa jenis, termasuk *parabolic trough*, *solar tower*, *parabolic dish*, dan *linear Fresnel reflector*. Di antara jenis-jenis tersebut, *parabolic trough solar collector* menjadi yang paling banyak dikembangkan di berbagai negara karena dianggap sebagai teknologi yang telah matang dan terbukti keandalannya dalam aplikasi nyata. Ada beberapa jenis teknologi CSP yang

tersedia, termasuk *linear fresnel reflector* (LFR), *solar tower*, *parabolic dish*, *parabolic through*. Dari beberapa jenis teknologi tersebut, yang memiliki rasio konsentrasi lebih dari 1000°C dan temperatur yang dapat dihasilkan 1000°C - 1600°C adalah *parabolic dish*.

2.4.1. *Parabolic Trough Collector (PTC)*

Parabolic Trough Collector atau PTC merupakan salah satu jenis kolektor surya yang menggunakan teknologi CSP yaitu dengan mengumpulkan energi matahari melalui pemanfaatan refleksi cermin parabola untuk mengkonsentrasikan cahaya matahari ke sebuah tabung atau pipa di titik fokusnya. Biasanya pipa ini berisi fluida panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas atau digunakan dalam sistem pemanas. Sistem ini banyak digunakan untuk menghasilkan listrik dan aplikasi pemanas karena efisiensi dan efektivitasnya dalam memanfaatkan energi matahari. *Parabolic Trough Collector (PTC)* terdiri dari *solar concentrator*, *absorber* dan *tracking system* (Pikra dkk, 2012).

Parabolic Trough Collector menggunakan permukaan cermin berbentuk parabola tempat radiasi matahari dikumpulkan dan dikonsentrasikan dalam penyerap. Fluida perpindahan panas mengalir dalam tabung penyerap dan tabung mengangkut panas ke tujuannya. Perak dan aluminium merupakan dua bahan yang umum digunakan, sering kali dipasang pada permukaan kaca. Desain PTC (*Parabolic Trough Collector*) memiliki karakteristik ringan dan efisiensi yang cukup tinggi. Struktur sistem ini terdiri dari lembaran reflektif, biasanya menggunakan bahan seperti akrilik perak, yang dibentuk menjadi kurva parabola. Beberapa lembaran reflektif tersebut disusun secara berurutan untuk membentuk kolektor parabola yang panjang. Modul-modul ini didukung oleh tiang sederhana di kedua ujungnya untuk memberikan stabilitas, seperti terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 *Prototipe parabolic trough collector*

(sumber: Pikra dkk, 2011)

Desain PTC (*Parabolic Trough Collector*) memiliki karakteristik ringan dan efisiensi yang cukup tinggi. Struktur sistem ini terdiri dari lembaran reflektif, biasanya menggunakan bahan seperti akrilik perak, yang dibentuk menjadi kurva parabola. Beberapa lembaran reflektif tersebut disusun secara berurutan untuk membentuk kolektor parabola yang panjang. Modul-modul ini didukung oleh tiang sederhana di kedua ujungnya untuk memberikan stabilitas. Setiap modul parabola memiliki fokus linier, yaitu garis fokus di mana penerima panas ditempatkan. Penerima panas biasanya berupa pipa logam berwarna hitam yang dilindungi oleh selubung kaca untuk mengurangi kehilangan panas akibat konveksi. Permukaan logam pada tabung sering dilapisi dengan material selektif, yang dirancang untuk memiliki daya serap sinar matahari tinggi dan emisi panas rendah. Selain itu, pipa kaca pelindung biasanya dilapisi dengan lapisan antipantul guna meningkatkan kemampuan transmisi cahaya. Untuk mengurangi kehilangan panas lebih lanjut, ruang antara kaca dan pipa logam sering divakumkan, sehingga meningkatkan efisiensi termal sistem secara keseluruhan (Barlev dkk, 2021)

2.4.2. *Linear Fresnel Reflector (LFR)*

Linear Fresnel Reflector (LFR) adalah teknologi inovatif di bidang energi surya, yang menawarkan metode yang efisien dan hemat biaya untuk memanfaatkan tenaga matahari. Teknologi ini merupakan bagian dari kategori sistem pemusatan tenaga surya (CSP) yang lebih luas, yang memfokuskan sinar matahari ke penerima untuk menghasilkan energi panas. LFR menonjol karena kesederhanaannya, biaya yang lebih rendah, dan kemampuan beradaptasi, menjadikannya pilihan yang menjanjikan untuk produksi energi berkelanjutan. LFR adalah jenis kolektor surya yang menggunakan serangkaian cermin datar atau sedikit melengkung, yang dikenal sebagai reflektor, untuk memusatkan sinar matahari ke penerima linier. Penerima, biasanya berupa tabung berisi cairan perpindahan panas, menyerap sinar matahari terkonsentrasi, mengubahnya menjadi energi panas. Energi panas ini kemudian dapat digunakan langsung untuk keperluan pemanasan atau diubah menjadi listrik menggunakan siklus daya, seperti turbin uap.

Mengenai fluida kerja LFR, air atau steam merupakan pilihan umum untuk produksi *superheated steam* jenuh dan bertekanan tinggi. Uap ini dapat digunakan langsung pada turbin siklus rankine atau untuk proses industri (Bellos, 2019). Selain itu, minyak termal seperti Therminol VP-1 digunakan untuk berbagai aplikasi termal hingga 400°C. Garam cair juga dapat digunakan untuk aplikasi produksi listrik yang juga menggunakan garam cair untuk tujuan penyimpanan. Menurut Bellos dkk (2019) menemukan bahwa pengoperasian dengan garam cair menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengoperasian dengan minyak termal dan juga disebutkan bahwa garam cair memberikan kemungkinan pengoperasian pada suhu yang lebih tinggi hingga 600°C. LFR dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini sebagai berikut :

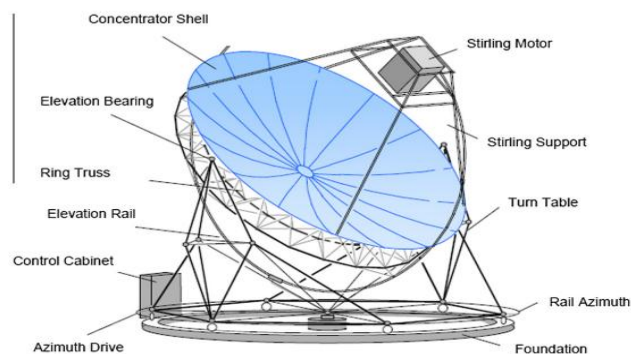


Gambar 2. 2 *Linier fresnel reflector*

(sumber: Bellos, 2019)

2.4.3. *Parabolic Dish Collector (PDC)*

Gambar 2.3 merupakan *parabolic dish collector* atau PDC adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan parabola yang dilapisi cermin dan memantulkan cahaya untuk memfokuskan sinar matahari ke sebuah *receiver* yang ditempatkan di pusat parabola. *Receiver* ini diletakan di titik fokus dari parabola dan biasanya berisi mesin *sterling engine* atau turbin uap untuk mengubah panas menjadi energi listrik.



Gambar 2. 3 Parabolic dish collector

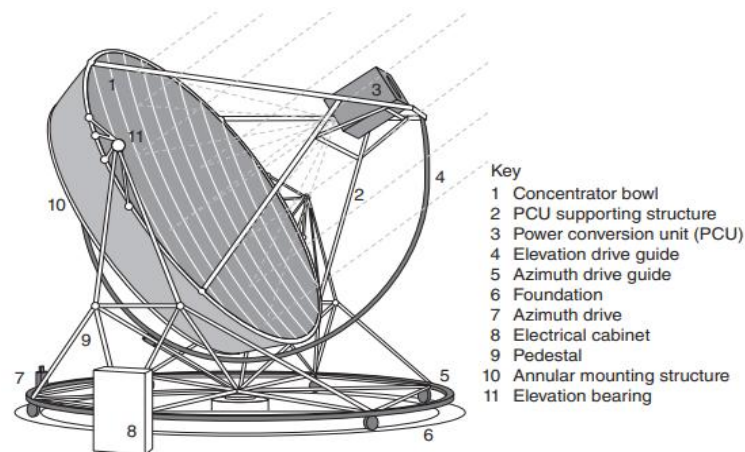
(sumber: Hafez dkk, 2016)

2.5 *Parabolic Dish Collector (PDC)*

Parabolic dish system memberikan metode efisiensi yang tinggi mulai dari efisiensi optik tertinggi, rasio konsentrasi tertinggi dan efisiensi konversi keseluruhan tertinggi dari semua teknologi CSP. PDC merupakan teknologi paling sederhana dari *solar thermal plant* dikarenakan sistem ini menggunakan peristiwa yang sederhana yaitu memfokuskan sinar matahari pada satu titik tertentu yang disebut titik fokus (Schlaich et al, 2012). *Parabolic dish collector* adalah salah satu sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan teknologi *concentrated solar power* berbentuk parabola yang dilapisi cermin untuk memfokuskan sinar matahari ke suatu titik yang disebut titik fokus atau *receiver*. Panas yang dihasilkan ditransfer untuk proses konversi, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan mesin kalor atau menggunakan *heat transfer fluid* (HTF) untuk keperluan beban termal lain seperti proses industri. Teknologi PDC ini memiliki beberapa keunggulan yaitu :

1. Sistem ini selalu mengarah ke matahari maka teknologi ini merupakan teknologi paling efisien daripada teknologi CSP lainnya.
2. Memiliki *modular collector* dan unit *receiver* yang dapat berfungsi secara mandiri atau sebagai bagian dari sistem teknologi PDC ini.
3. PDC mampu memberikan daya yang relatif konsisten karena dapat terus memfokuskan sinar matahari ke *receiver* selama sinar matahari yang tersedia cukup.
4. PDC dapat diterapkan dalam skala kecil hingga menengah membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi (Kolagirou, 2004).

Gambar 2.4 dibawah ini merupakan desain skemati yang menunjukkan bagian penting dari PDC :



Gambar 2. 4 Desain skematik bagian penting PDC

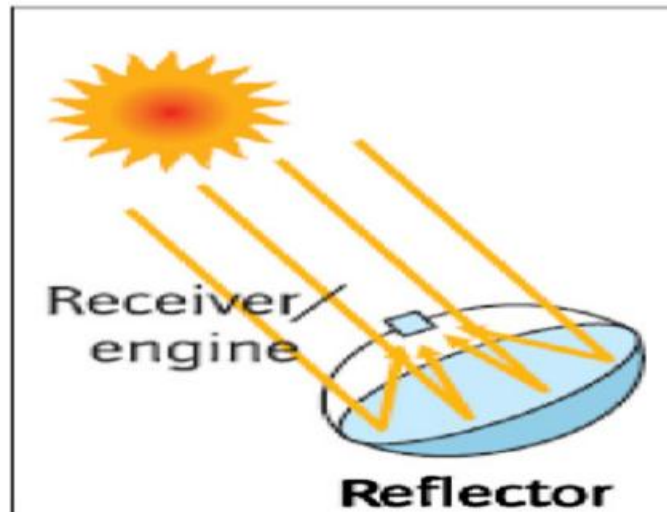
(sumber: Schiel and Keck, 2012)

2.5.1 Prinsip Dasar *Parabolic Dish Collector*

Komponen dan desain utama dari *Parabolic Dish Collector* ini terdiri dari:

- a. *Solar tracking system*
- b. Sistem pengendali
- c. *Photothermal converter* atau *receiver*
- d. *Concentrator* berbentuk parabola
- e. Mesin kalor dan generator, berupa rakitan *Stirling Engine* (opsional)

Parabolic dish collector mengikuti pergerakan matahari dua arah (azimuth dan elevation) sehingga sumbu optik konsentrator tetap menghadap matahari. Hal ini berarti radiasi matahari difokuskan oleh konsentrator ke arah titik fokus, dimana receiver ditempatkan untuk proses konversi *photothermal*. Tergantung pada kebutuhan, *stirling engine* dapat ditempatkan di *receiver* atau *receiver* yang berisi aliran fluida untuk transfer panas yang digunakan untuk proses industri.



Gambar 2. 5 Skema pemantulan cahaya dari konsentrasi ke *receiver*
(sumber: Zhang dkk., 2013)

Gambar 2.5 menunjukkan model pemantulan dari *solar dish collector*. Permukaan reflektor yang berbentuk parabola memiliki fungsi sebagai konsentrator. Permukaan reflektor bisa menggunakan *metallized glass*, kaca cermin atau plastik. Cahaya yang datang dipantulkan ke area yang lebih kecil dengan jarak sesuai dengan titik focal parabola. Bentuk ideal untuk *solar dish collector* adalah paraboloid. Kualitas dan besarnya pantulan bergantung pada tingkat kepresisian penampang konsentrator, tingkat refletivitas, kondisi operasi dan jarak titik fokus. Ukuran umum untuk *parabolic dish collector* berkisar antara 1–2 meter hingga ada yang mencapai 25 meter.

Agar dapat melacak peredaran matahari, maka parabola harus bisa bergerak pada dua sumbu. Dua metode yang digunakan untuk model pergerakan *solar tracking* untuk *dish collector*, yaitu:

1. *Azimuth-elevation tracking*, dimana *dish* berputar pada bidang yang sejajar dengan permukaan bumi (*azimuth*) dan mengelilingi sumbu yang tegak lurus terhadapnya (*elevation*), menyebabkan putaran *dish*. Tingkat rotasi pada kedua sumbu

bervariasi sepanjang hari, namun kecenderungannya dapat diperkirakan.

2. *Polar-equatorial, dish* berputar pada sumbu yang sejajar dengan rotasi bumi. Berputar dengan nilai konstanta yang ditetapkan sebesar $15^\circ/\text{jam}$, yang sama dengan kecepatan rotasi bumi. Sumbu deklinasi tegak lurus terhadap sumbu kutub dan bergerak secara perlahan, dengan pergerakan total pada sumbu ini terjadi dengan lambat dengan total $\pm 23,5^\circ/\text{tahun}$ (atau maksimum $0.016^\circ/\text{jam}$).

Model sistem *tracking* untuk *dish* umumnya digerakkan oleh motor listrik yang dilengkapi dengan *gearbox* dan ada juga alternatif lain yang menggunakan sistem hidrolik. Sensor digunakan untuk mendeteksi posisi matahari yang diatur dengan algoritma kontrol untuk menghitung dan memperkirakan posisi matahari secara akurat berdasarkan nilai sensor dan waktu (tanggal, bulan, dan tahun). Seluruh proses kendali pada sistem penggerak termasuk juga pengaturan pada unit *stirling engine* dilakukan dengan bantuan *microcontroller* yang terhubung dengan komputer khusus. Semua operasi dapat dilakukan secara otomatis dan menggunakan internet sehingga dapat dikendalikan dari jarak jauh.

2.6 *Solar Receiver Thermal*

Solar receiver adalah komponen kunci dalam sistem teknologi CSP yang menyerap energi surya terkonsentrasi untuk memanaskan fluida kerja dan mengkonversi menghasilkan panas. *Solar receiver* dapat memanaskan fluida kerja utama secara langsung atau fluida perpindahan panas lainnya seperti air, udara atau garam cair. *Solar receiver* ditempatkan di titik fokus dari kolektor terkonsentrasi dimana lokasi ini sinar matahari terfokus oleh konsentrator dan memiliki intensitas cahaya atau panas yang paling tinggi.

Receiver pada *parabolic dish collector* memiliki dua fungsi: 1) untuk menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari yang dipantulkan oleh konsentrator, 2) untuk mentransfer energi dalam bentuk panas ke media kerja yaitu fluida kerja (Rahman dkk, 2022). Parameter *solar receiver* untuk *parabolic dish collector* dapat bervariasi, tergantung pada desain dan penggunaan yang diinginkan. Beberapa parameter utama meliputi:

1. Efisiensi Termal yaitu mengukur seberapa efektif *receiver* mengubah energi matahari menjadi panas yang dapat digunakan. Ini merupakan parameter penting untuk penggunaan panas matahari.
2. Cairan Perpindahan Panas, jenis cairan yang digunakan dalam *receiver* untuk mentransfer dan menyimpan energi panas.
3. Suhu Operasi, kisaran suhu di mana *receiver* beroperasi secara efektif.
4. Daya Tahan Material yaitu kemampuan *receiver* untuk bertahan dalam suhu tinggi, kondisi cuaca, dan faktor lingkungan lainnya.
5. Efisiensi Optik, Parameter ini berkaitan dengan seberapa efektif *receiver* menangkap dan memanfaatkan sinar matahari yang terkonsentrasi dari piringan parabola.

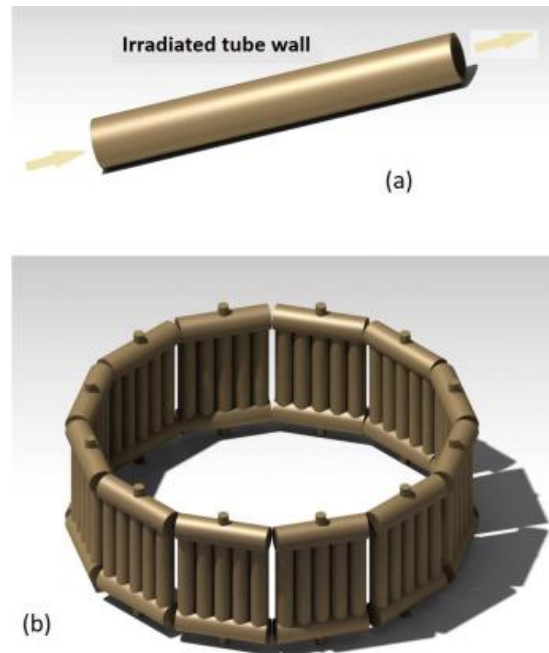
Parameter ini sangat penting untuk merancang dan mengoptimalkan kinerja *solar receiver* dalam *parabolic dish collector*.

Berdasarkan kebutuhan dan konfigurasinya, *solar receiver* dibagi menjadi tiga kategori yaitu :

2.6.1 Receiver eksternal

Gambar 2.6 merupakan *receiver* eksternal biasanya digunakan dalam sistem *solar power tower*. Pada *receiver* jenis ini radiasi terkonsentrasi diserap oleh permukaan yang tetap terbuka terhadap lingkungan sekitar dan fluida kerja dialirkan dari sisi lain permukaan yang sama melalui saluran dan dipanaskan secara konveksi paksa. Gambar 2.6 ini menunjukkan skema desain *receiver* eksternal berbentuk tabung. Keunggulan dari desain ini adalah kesederhanaannya. Namun sebaliknya, *receiver* eksternal mempunyai beberapa keterbatasan yaitu memiliki batas fluks maksimum yang lebih kecil untuk menghindari kerusakan pada

material *receiver* karena batas suhu maksimum yang dapat ditanganin oleh *receiver* tersebut, kehilangan panas yang lebih tinggi karena permukaan *receiver* terpapar ke lingkungan sekitar dan *receiver* lebih rentan terhadap kehilangan konveksi akibat efek angin karena terbuka terhadap lingkungan sekitar (Dutta, 2017).



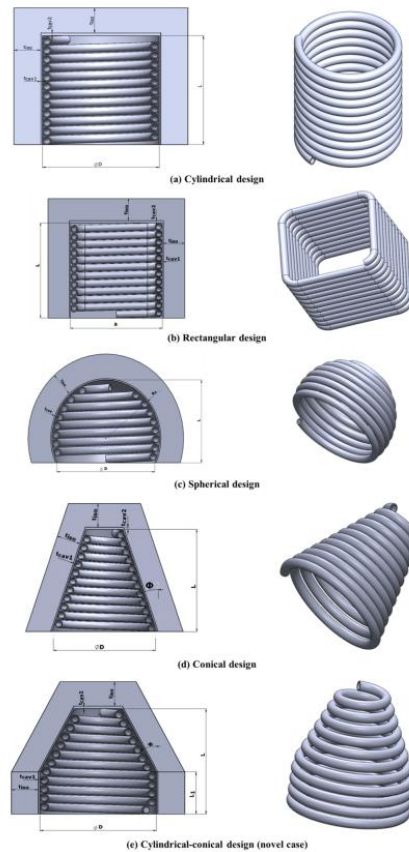
Gambar 2. 6 a) elemen dasar *receiver* bentuk tabung, (b) *receiver* bentuk tebung eksternal

(Sumber : Dutta,2017)

2.6.2 *Receiver* berongga

Receiver yang paling umum dalam sistem *parabolic dish collector* adalah *receiver* berongga. *Receiver* ini umumnya tidak mempunyai penutup dibagian depan sisi dan berusaha mencapai efisiensi optik yang tinggi dengan mengumpulkan sinar matahari yang datang didalam rongga. Secara teknis, *receiver* berongga memanfaatkan pantulan sekunder didalam rongga sehingga efektif absorbansi *receiver* meningkat. Namun ketiadaan penutup meningkatkan kerugian termal pada *receiver* berongga (Bellos dkk, 2019). Ada

berbagai macam bentuk *receiver* berongga seperti pada Gambar 2.7 dibawah ini.

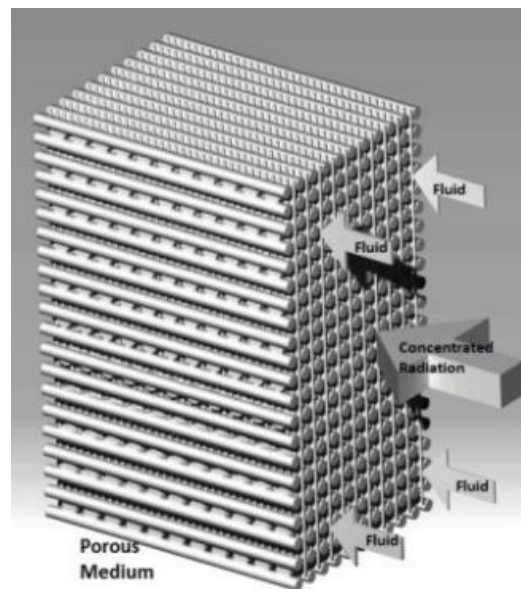


Gambar 2. 7 Macam-macam bentuk receiver berongga
(Sumber: Bellos dkk., 2019)

2.6.3 Receiver volumetrik

Receiver volumetrik memiliki desain yang berbeda sehingga radiasi yang datang diserap dalam media berpori diseluruh volume dan fluida kerja dilewatkan melalui media berpori dan dipanaskan. Media berpori dapat berupa busa logam atau keramik, susunan foil, bungkusan kawat rajut, atau bentuk yang saling bertautan dengan porositas. *Receiver* volumetrik memiliki keuntungan tertentu yaitu kemampuan untuk menangani radiasi insiden yang lebih tinggi karena radiasi tidak diserap oleh permukaan tetapi dalam volume keseluruhan, perpindahan panas yang lebih baik terjadi karena lebih

banyak luas permukaan yang tersedia untuk mentransfer panas dari media berpori ke fluida kerja dan kehilangan panas dapat dikurangi karena efek volumetrik yaitu suhu permukaan yang menghadap lingkungan dalam lebih rendah dan suhu puncak terjadi di pada media berpori. *Receiver volumetric* dapat dilihat pada Gambar 2.8 sebagai berikut :



Gambar 2. 8 *Receiver volumetric*

(Sumber: Dutta, 2017)

2.7 Kinerja Termal

Panas yang disuplai oleh *parabolic dish collector* atau panas masukan untuk *receiver* (Q_d) dihitung menggunakan persamaan 1 (Vishnu & Senthil, 2023) :

$$Q_d = \eta_{opt} I_b A_r \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Q_d : Panas masuk dari *parabolic dish* (W)

η_{opt} : Efisiensi optik berdasarkan reflektifitas cermin (%)

I_b : Irradiasi Matahari (W/m^2)

A_r : Luas permukaan *parabolic dish collector* (m^2)

Efisiensi optik didapat dengan menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\eta_{opt} = \rho \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

ρ : Reflektifitas cermin

τ : Transmisi dari penutup penerima

α : Absorbansi penerima

γ : Faktor geometrik yang menggambarkan efisiensi dalam mengumpulkan sinar matahari pada penerima

Total panas yang diserap oleh *heat transfer fluid* (HTF) tergantung pada laju aliran ($\dot{m}$), suhu masuk (T_{in}), suhu keluar (T_{out}) dan kapasitas panas spesifik pada tekanan konstan (C_p) (Cengel,2011). Ditentukan dengan menggunakan persamaan 3:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

Q_u : Panas yang diterima oleh *receiver* (W)

$\dot{m}$: Laju aliran fluida (kg/s)

C_p : Panas spesifik fluida (J/kgK)

T_{out} : Temperatur fluida keluar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} : Temperatur fluida masuk ($^{\circ}\text{C}$)

Sedangkan untuk menghitung laju aliran massa dapat dihitung menggunakan persamaan 4.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

Q : Debit laju aliran fluida (m^3/s)

$\dot{m}$: Laju aliran fluida (kg/s)

ρ : Densitas air (kg/m^3)

2.8 Efisiensi Energi Termal

Energi didefinisikan sebagai gerak atau kemampuan untuk menimbulkan gerak dan selalu bersifat kekal didalam suatu proses (Rifai dkk, 2022). Dalam konteks fisika energi didefinisikan sebagai kapasitas untuk melakukan kerja. Energi dapat berubah bentuk ke bentuk lainnya tetapi jumlah total energi dalam suatu sistem selalu tetap dikarenakan ada hukum kekekalan energi. Ada berbagai bentuk energi antara lainnya adalah :

1. Energi potensial yaitu energi yang terkandung dalam suatu objek karena posisi atau kondisinya. Contohnya adalah energi potensial gravitasi yang dimiliki oleh objek yang ditinggikan diatas permukaan bumi.
2. Energi kinetik yaitu energi yang terkait dengan suatu objek. Semakin cepat objek bergerak atau semakin besar massa objek, semakin besar pula energi kinetiknya.
3. Energi panas atau energi termal yaitu terkait dengan gerakan partikel partikel dalam suatu sistem. Semakin tinggi suhu suatu objek, semakin besar energi termalnya.
4. Energi kimia yaitu energi yang disimpan dalam ikatan kimia antara atom dan molekul. Energi ini dapat dilepaskan melalui reaksi kimia seperti dalam proses pembakaran bahan bakar.
5. Energi cahaya merupakan bentuk energi elektromagnetik yang dapat merambat ruang hampa atau medium seperti udara.
6. Energi listrik yaitu energi yang berkaitan dengan aliran muatan listrik. Energi listrik dapat dihasilkan melalui proses pembangkit listrik atau diperoleh dari sumber energi terbarukan.

Efisiensi termal adalah rasio antara hasil berguna yang dihasilkan dari suatu sistem atau perangkat dengan total energi yang digunakan untuk mengoperasikan sistem tersebut. Dalam konteks ini, hasil berguna dapat berupa pekerjaan yang dihasilkan atau tujuan spesifik lainnya. Efisiensi termal dapat dihitung menggunakan persamaan 5 :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_d} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Tujuan utama dari usaha meningkatkan efisiensi termal adalah untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan. Hal ini penting dalam berbagai konteks karena dapat mengurangi konsumsi energi, mengurangi biaya operasional dan memiliki dampak positif terhadap lingkungan (Vishnu & Senthil, 2023).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut merupakan tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan oleh penulis antara lain:

3.1.1 Tempat penelitian

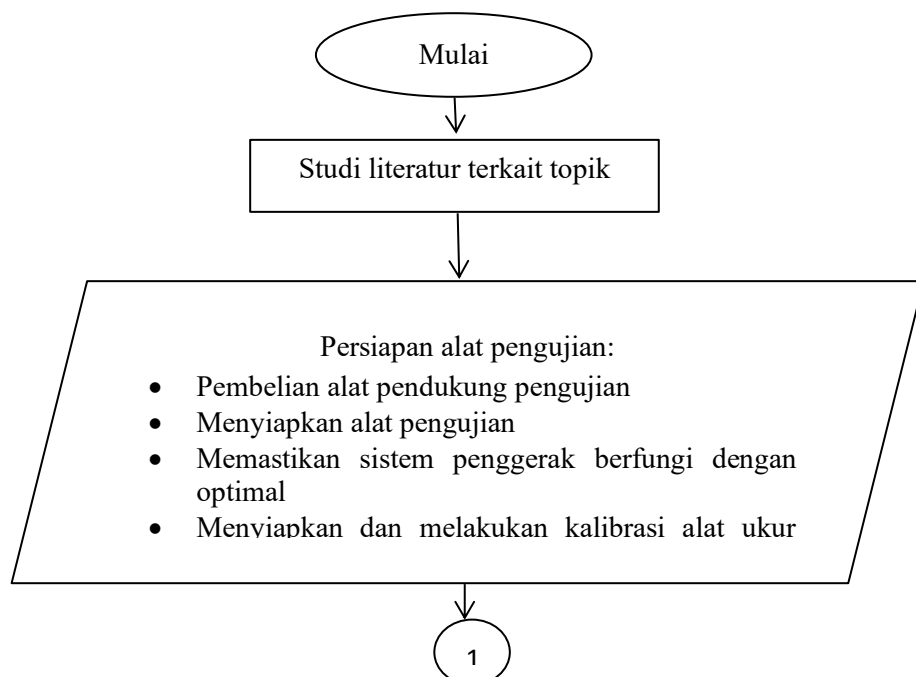
Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin dan di atas Hanggar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

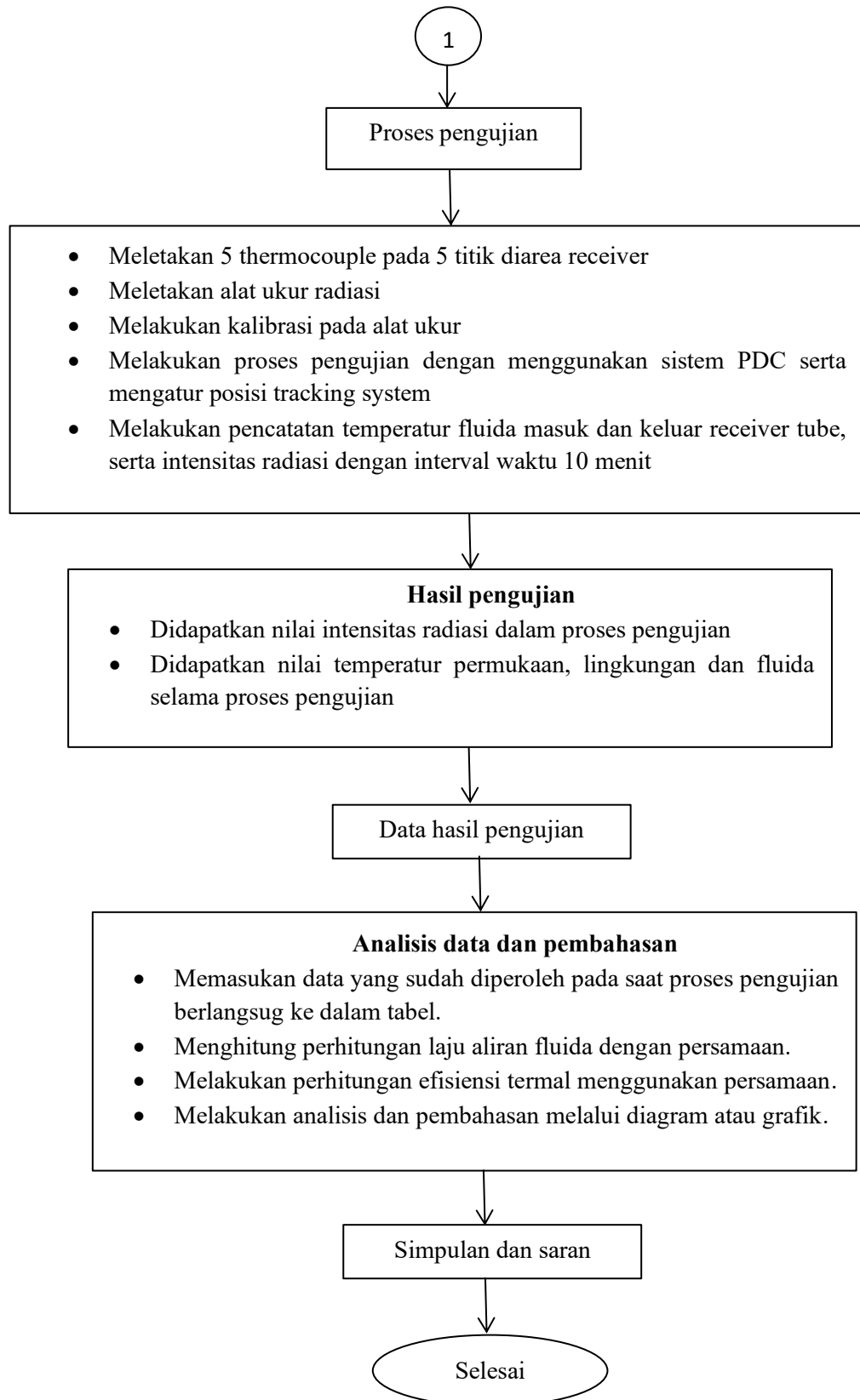
3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam jannnga waktu yang diperkirakan sesuai

3.1.3 Diagram Alur Penelitian

Berikut diagram alur penelitian pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram alur pengujian

3.2 *Solar Receiver*

Solar receiver merupakan salah satu komponen utama dalam penelitian ini. *Solar receiver* yang digunakan yaitu *tube* dengan arah aliran spiral. *Solar receiver* ini bertugas untuk menerima dan menyerap energi matahari yang dikontrasikan oleh *parabolic dish collector* dan ditransfer energi berbentuk panas ke media kerja yaitu fluida kerja berupa air yang mengalir didalam *receiver*. Penempatan *solar receiver* ini berada di titik fokus dari *parabolic dish collector*. Pada Tabel 3.1 merupakan spesifikasi ukuran dan desain dari *solar receiver* sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Ukuran *Solar Receiver*

Spesifikasi ukuran <i>solar Receiver</i>	
Diameter luar pipa	6 mm
Diameter dalam pipa	5 mm
Panjang pipa	7200 mm
Ketebalan pipa	0.5 mm
Diameter keseluruhan	220 mm

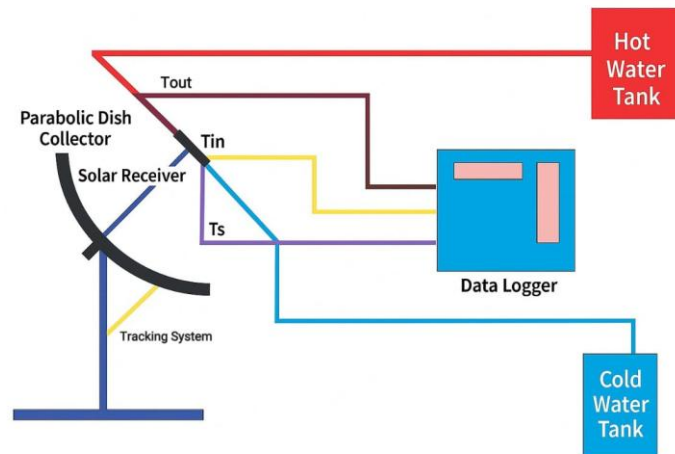
Penelitian ini menggunakan model *receiver tube flat* dengan arah aliran spiral diusulkan dengan jalur aliran yang lebih baik dan waktu tinggal fluida yang lebih lama bertujuan untuk menghantarkan panas dengan baik. *Solar receiver* yang digunakan terbuat dari bahan pipa tembaga yang ditekukan. Pipa tembaga yang digunakan memiliki diameter luar 6 mm, diameter dalam 4 mm, ketebalan pipa tembaga 1 mm, panjang keseluruhan 7200 mm dan memiliki diameter 220 mm. Pada bagian Tengah terdapat plat hitam yang memiliki fungsi untuk menutup sedikit celah yang terdapat pada bagian tengah dan juga berfungsi untuk dudukan tiang penyangga. dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



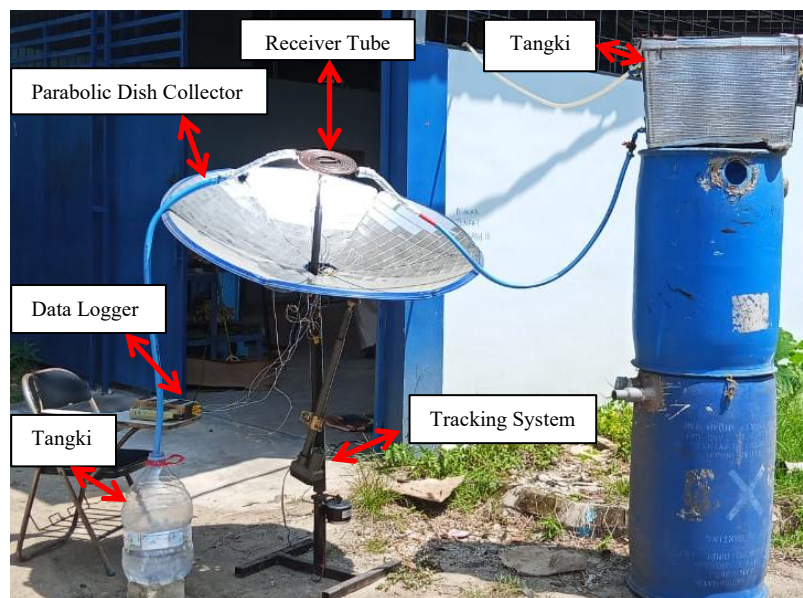
Gambar 3. 2 Solar receiver

3.3 Skema Installasi Dan Pengujian Eksperimen

Pada penelitian ini dilakukan skema pengujian yang dilakukan secara experimental di ruangan terbuka di atas Hanggar Jurusan Teknik Mesin,, Universitas Lampung. Skema pengujian ini diawali dengan pompa mendorong dari tempat penampung ke *receiver* melewati katup dan *flow meter* dengan laju aliran massa yang dikontrol oleh katup dan dapat dilihat melalui *flow meter sensor*. Temperatur fluida masuk, temperatur fluida keluar dan temperatur permukaan *receiver* diukur menggunakan *thermocouple* dan dapat dilihat melalui *temperature recorder*. Fluida kerja yang digunakan adalah air dikarenakan ketersediaannya dan air merupakan fluida perpindahan panas yang baik. *Solar power meter* digunakan untuk mengukur radiasi matahari pada permukaan *parabolic dish collector*. Skema pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Skema Pengujian



Gambar 3. 4 Instalasi pengujian

Sesuai dengan rancangan skema pengujian, air mengalir dari tangki menuju *solar receiver* dengan memanfaatkan ketinggian tangki sebagai tekanan gravitasi untuk mengalirkan fluida. *Solar receiver* diletakkan pada titik fokus *Parabolic Dish Collector* (PDC) menggunakan tiang penyangga. Aliran air dari tangki distribusi dihubungkan melalui selang menuju *receiver tube*, kemudian data suhu dicatat menggunakan data logger yang terpasang di dekat sistem. Keseluruhan sistem didukung oleh tracking system yang berfungsi mengarahkan PDC agar selalu mengikuti arah

matahari, sehingga radiasi yang diterima pada titik fokus tetap optimal selama pengujian berlangsung. Instalasi pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.

3.4 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

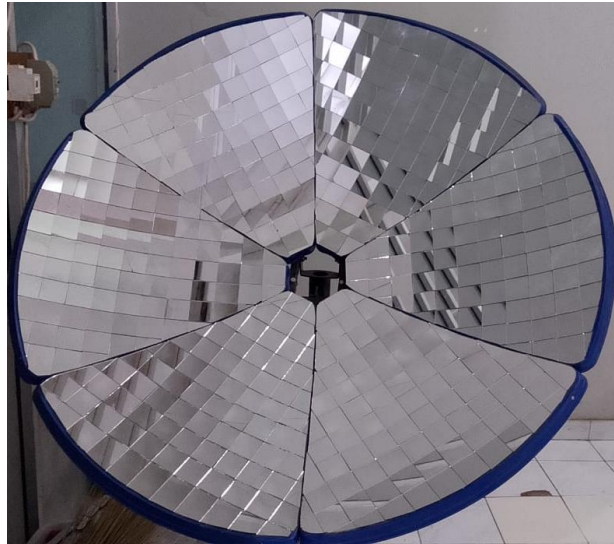
1. *Parabolic dish collector*

Parabolic dish collector (PDC) adalah jenis kolektor surya terkonsentrasi yang dirancang untuk mengumpulkan dan memfokuskan energi matahari pada satu titik fokus yang dapat diubah menjadi energi termal. PDC terdiri dari cermin parabola aluminium yang dilapisi kaca.

Diameter *parabolic dish* sebesar 1200 mm dengan ketinggiannya 170 mm yang dilapisi cermin sebagai reflektor yang memiliki ketebalan 2 mm. Desain dari *parabolic dish* memiliki lubang dibagian tengah yang bertujuan sebagai penyangga *solar receiver*. *Parabolic dish* ini menggunakan *actuator* sebagai *tracking system* yang dikendalikan secara otomatis menggunakan arduino uno. Spesifikasi PDC dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan bentuk *Parabolic Dish Collector* dapat dilihat pada gambar 3.5.

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Parabolic Dish Collector*

Spesifikasi <i>Parabolic Dish Collector</i>	
Diameter <i>dish</i>	1.2 m
Ketinggian <i>dish</i>	0.17 mm
Titik fokus	0.529 m
Luas permukaan <i>dish</i>	1.134 m ²
Jenis relektor	Kaca
Ketebalan reflektor	0.002 m



Gambar 3. 5 Parabolic dish collector

2. *Linear Actuator*

Linear Actuator yang digunakan untuk mengarahkan arah dari altitude atau arah horizontal dari sistem. Penggerak akan mengarahkan sistem PDC dari timur ke barat dengan otomatis. Gerakan dari *linear actuator* akan diatur oleh *timer*, berikut spesifikasi dari *Linear Actuator* pada Tabel 3.3:

Tabel 3. 3 Spesifikasi *Linear Actuator*

Spesifikasi <i>Linear Actuator</i>	
Merk	Generic Linear Actuator
Panjang Langkah	20cm
Tegangan Operasi	12 V
Beban Maksimum	200 kg

3. *Solar Power Meter SPM-1116 SD*

Gambar 3.6 menunjukkan *Solar Power Meter SPM-1116 SD* digunakan sebagai alat yang mengukur besar irradiasi yang dipancarkan lampu hologen ke permukaan modul *Photovoltaic*. Satuan yang digunakan yaitu W/m^2 . Alat ini dapat menyimpan data hingga 16 GB dengan respon spectral 400-1100 nm dengan akurasi pembacaan 5%.



Gambar 3. 6 Solar power meter SPM-1116SD

4. *Temperature Recorder dan Probe Thermocouple*

Temperature recorder dan *thermocouple* digunakan untuk mengukur temperatur permukaan *receiver*, temperatur inlet, temperatur *outlet* dan temperatur lingkungan. Perubahan temperatur direkam dalam *datalogger* dan dapat disimpan dalam *SD Card*. Spesifikasi *Temperature recorder* dan *thermocouple* dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Temperature Recorder dan Probe Thermocouple*

Spesifikasi <i>Temperature Recorder</i>	
Merk	LU BTM -4208 SD
Suhu <i>min/max</i>	-50 ⁰ C s/d 1300 ⁰ C
<i>Record external</i>	0.1 ⁰ C
Ketelitian	<i>SD Card</i>
Maks. <i>input</i>	12 saluran
Spesifikasi <i>Probe Thermocouple</i>	
Diameter Kabel	2*0.5 mm
Panjang Kabel	meter
Temperatur ukur	-200 ⁰ C – 2000 ⁰ C
Ketelitian	0.1 ⁰ C

Gambar 3. 7 *Temperture recorder*



Gambar 3. 8 *Probe thermocouple*

5. Dinamo motor

Gambar 3.9 menunjukkan dinamo motor MY1016 digunakan sebagai penggerak parabolic dish collector agar mengarah ke posisi matahari. Dengan motor ini, posisi PDC dapat berubah secara otomatis sesuai pergerakan matahari sepanjang hari dan menjaga fokus panas tepat di *receiver tube*. Spesifikasi dinamo motor dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.5 Spesifikasi Dinamo Motor

Spesifikasi <i>Dinamo Motor</i>	
Type	High-speed brush motor MY1016
<i>Rated power</i>	250 W
<i>Voltage</i>	12/24V
<i>No-load current</i>	1.2/1.4 A
RPM	2750 RPM
Berat	2.56 kg



Gambar 3. 9 Dinamo motor MY1016

3.5 Prosedur penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini seperti *solar receiver*, *data logger*, *thermocouple*, *flow meter*.
2. Merangkai alat dan bahan seperti pada skema pengujian.
3. Menghidupkan *temperature recorder* dan memasang *thermocouple*.
4. Membuka keran air secara perlahan untuk mengalirkan air dari tempat penampungan menuju *receiver*.
5. Menghidupkan *water flow meter* untuk melihat kecepatan aliran fluida.
6. Mengatur kecepatan aliran fluida menggunakan katup kontrol.
7. Merekam data perubahan temperatur pada temperatur masuk, temperatur keluar dan temperatur permukaan *receiver* setiap 10 menit sekali.
8. Memasukan data hasil rekaman *temperature recorder* ke dalam *Ms. Excel*.
9. Mengulangi langkah 1-8 dengan variasi *tracking syatem doouble axis*.
10. Membuat kesimpulan hasil penelitian.
11. Selesai.

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Penelitian eksperimental ini melakukan pengujian kinerja termal *solar receiver tube flat* dengan arah aliran spiral berbahan tembaga pada variasi sistem pelacakan (*tracking system*) *single axis* dan *double axis*. Kesimpulan penting yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik pada perpindahan panas dipengaruhi oleh radiasi, dimana naik turunnya radiasi menentukan nilai dari laju perpindahan panas. Nilai Q_u maksimal tercapai sekitar 493,63 W saat intensitas radiasi sebesar 899,7 W/m², dengan rata-ratanya sebesar 372,50 W/m² dengan radiasi rata-rata sebesar 800,73 W/m² pada *tracking system single axis*. Nilai Q_u maksimal tercapai sekitar 654,02 W pada intensitas radiasi 968,7 W/m² dengan rata-rata Q_u sebesar 481,83 W pada radiasi rata-rata sebesar 899,59 W/m² dengan *tracking system double axis*. Kondisi tersebut disebabkan oleh kemampuan sistem *tracking double axis* dalam meminimalkan kerugian radiasi. Dengan demikian, sistem *tracking double axis* mampu memaksimalkan pemanfaatan energi surya sehingga menghasilkan laju transfer panas yang tinggi dan stabil selama periode penyinaran.
2. Efisiensi termal menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari dan sistem pelacakan yang digunakan sangat memengaruhi kinerja *Parabolic Dish Collector* (PDC). Efisiensi termal pada *tracking system single axis* tertinggi sebesar 66.29% pada intensitas radiasi 841.6 W/m² dan efisiensi termal rata-ratanya sebesar 55.14%. Besar efisiensi termal pada *tracking system double axis* tertinggi sebesar 79.71% pada intensitas radiasi 968.7 W/m² dan efisiensi termal rata-ratanya sebesar 63.1%. Efisiensi *thermal parabolic dish collector* terdapat perbedaan antara *single axis* dengan *double axis*,

dimana efisiensi dari *double axis* lebih besar karena mampu memaksimalkan penyerapan radiasi dan kerugian radiasi lebih kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Eksperimen menggunakan material tube yang berbeda sehingga dapat diketahui kinerja termal yang berbeda dan mengoptimalkan sistem *solar receiver*.
2. Bentuk tube yang digunakan berbeda dari sebelumnya untuk meningkatkan turbulensi fluida sehingga perpindahan panas semakin optimal.
3. Fluida kerja yang digunakan tidak hanya air, tetapi menggunakan fluida kerja lainnya agar mencapai temperatur yang lebih tinggi.
4. Efisiensi energi yang dibandingkan tidak hanya dari sisi termal saja, tetapi juga konsumsi energi motor penggerak tracking.

DAFTAR PUSTAKA

- Augustone, N., & Pamungkas, P. (2020). Potensi Perencanaan Aliran Air Bendungan Sei Gong Sebagai Sumber Energi Terbarukan Melalui Pltmh. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 1(1), 1–6.
<https://doi.org/10.37253/jcep.v1i1.714>
- Asrori, Soeparman, S., Wahyudi, S., Denny, W. (2014). Konsentrator Lensa Fresnel: Kajian Pemanfaatan Energi Panas Matahari Untuk Aplikasi Kompiler Surya. Prosiding SENTIA – Politeknik Negri Malang. Volume 6~ISSN:2085-2347.
- Avargani, V. M., Rahimi, A., Divband, M., Zamani, M. A. (2020). Optical Analysis And Heat Transfer Modeling Of A Helically Baffled Cavity Receiver Under Solar Flux Non-Uniformity And windy Conditions, *Therm. Sci. Eng. Prog.* 20, 100719
<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100719>.
- Barlev, D., Vidu, R., Stroeve, P. (2011). Innovation In Concentrated Solar Power. *Solar Energy Materials And Solar Cell* 95, 2703-2725, [10.1016/j.solmat.2011.05.020](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.020)
- Bellos, E. (2019). Progress In The Design And The Applications Of Linear Fresnel Reflectors – A Critical Review. *Thermal Science and Engineering Progress* 10, 112–137,
[10.1016/j.tsep.2019.01.014](https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.01.014).
- wahy, A. And Michael, A. (2011). “Thermodynamics An Engineering Approach”. New York : McGraw-Hill Education
- Dutta, P. (2017). High Temperatur Solar Receiver And Thermal Storage Systems. *Applied Thermal Engineering*, [10.1016/j.applthermaleng.2017.06.028](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.028)
- Eteraf, S., Gorjian, S., Amidpour, M. (2021). Effect Of Covering Aperture Of Conical Cavity Receiver On Thermal Performance Of Parabolic Dish Collector: Experimental And Numerical Investigations, *J. Renew. Energy. Environ.* 8 (4) 29–41,
<https://doi.org/10.30501/jree.2021.275871.1194>.
- García-Quilachamin, W. X., Sanchez-Cano, J. E., Herrera-Tapia, J., & Velesaca-Zambrano, E. J. (2021). Analysis of A Two-Axis Solar Tracker System: Case

- Study. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17(5), 147–164. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i05.21991>
- Hafez, A. Z., Ahmed, S., El-Metwally, K. A., Ismail, I. M., (2016). *Solar* Parabolic Dish Stirling Engine System Design, Simulation, And Thermal Analysis. *Energy Conversion and Management* 126, 60–75, [10.1016/j.enconman.2016.07.067](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.067)
- Kalogirou, S. A. (2004). *Solar* Thermal Collectors And Applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30, 231–295, [10.1016/j.pecs.2004.02.001](https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001)
- Karimi, R., Gheinani, T., Avargani, M. V. (2018). A Detailed Mathematical Model For Thermal Performance Analysis Of A Cylindrical Cavity *Receiver* In A *Solar* Parabolic Dish Collector System. *Renewable Energy*, doi: [10.1016/j.renene.2018.03.015](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.015)
- Kumar, A., Sharma, B. K., Muhammad, T., & Pérez, L. M. (2024). Optimization of thermal performance in hybrid nanofluids for parabolic trough solar collectors using Adams–Bashforth–Moulton method. *Ain Shams Engineering Journal*, June, 103106. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103106>
- Kursun, B. (2019). Thermal Performance Assessment Of Internal Longitudinal Fins With Sinusoidal Lateral Surfaces In Parabolic Trough *Receiver Tubes*, *Renew. Energy* 140, 816–827, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.106>.
- Loni, E.A., Asli-Areh, B., Ghobadian, A. B., Kasaeian, S., Gorjian, G., Najafi, E., Bellos, (2020). Research And Review Study Of Solar Dish Concentrators With Different Nanofluids And Different Shapes Of Cavity Receiver: Experimental Tests. *Renew. Energy* 145 783–804 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.056>.
- Pikra, G., Salim, A., Purwanto, A. J., & Eddy, Z. (2012). Parabolic Trough Solar Collector Initial Trials. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 2(2), 57–64. <https://doi.org/10.14203/j.mev.2011.v2.57-64>
- Rahman, R. A., Setiawan, D., wiyono, A., Anggrainy, R., Yuseva, D. S. (2022). Teknologi Concentrated Solar Power: Refrensi Perkembangan Teknologi Photo-

Thermal Conversion Sebagai Alternatif Sumber Energi Baru Terbarukan.
Widina Bakti Persada Bandung. www.penerbitwidina.com.

Rifai, A., Viktor, Naubnome, Aripin (2022). Analisis Laju Kerusakan Energi Dan Efisiensi Eksergi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Open Journal System*, Vol 17, No. 2, ISSN No. 1978-3787.

Santoso, D. A. (2017). Analisis Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Distribusi Temperatur Aliran Fluida pada Heat Exchanger Counterflow Menggunakan Solidworks. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, Vol 16 No.2, p-ISSN 1412-9434 /e-ISSN 2549-7227.

Schiell, W. and Keck, T. (2012). *Parabolic Dish Concentrating Solar Power (CSP) Systems*. Woodhead Publishing Limited, 284-322, [10.1533/9780857096173.2.284](https://doi.org/10.1533/9780857096173.2.284).

Senthil, R. and Cheralthan, M. (2019). Enhancement Of Thermal Energy Storage Capacity Of A Parabolic Dish Concentrated *Solar Receiver* Using Phase Change Materials. *Journal of Energy Storage* 25, 100841, [10.1016/j.est.2019.100841](https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100841)

Thungsuk, N., Tanaram, T., Chaithanakulwat, A., Savangboon, T., Songruk, A., Mungkung, N., Maneepen, T., Arunrungrusmi, S., Poonthong, W., Kasayapanand, N., Nilwhut, S., Kinoshita, H., & Yuji, T. (2023). Performance Analysis of Solar Tracking Systems by Five-Position Angles with a Single Axis and Dual Axis. *Energies*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/en16165869>

Vishnu, S. K., & Senthil, R. (2023). Experimental performance and economic analysis of finned solar receiver for parabolic dish solar collector. *Heliyon*, 9(11), e21236. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21236>

Zhang, H. L., Baeyen, J., Degreve, J., Caceres, G. (2013). Concentrated *Solar* Power Plants: Review And Design Methodologi. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 466–481, [10.1016/j.rser.2013.01.032](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032).