

**UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA
DENGAN SUMBER PANAS REFLEKTOR PARABOLIK
DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH**

SKRIPSI



Oleh:
INTAN PUTRI NAZILA
NIM. 12640025

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA
DENGAN SUMBER PANAS REFLEKTOR PARABOLIK
DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**INTAN PUTRI NAZILA
NIM. 12640025**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

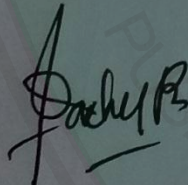
UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA
DENGAN SUMBER PANAS REFLEKTOR PARABOLIK
DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH

SKRIPSI

Oleh:
INTAN PUTRI NAZILA
NIM. 12640025

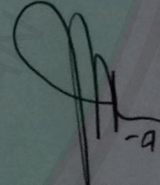
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Pada Tanggal:

Pembimbing I,



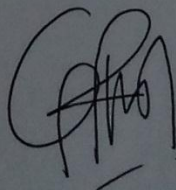
Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Pembimbing II,



Umaiyyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

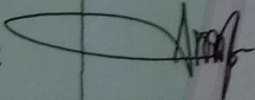
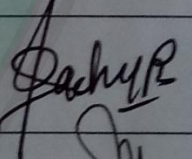
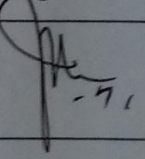
HALAMAN PENGESAHAN

UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA
DENGAN SUMBER PANAS REFLEKTOR PARABOLIK
DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH

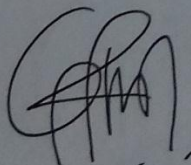
SKRIPSI

Oleh:
INTAN PUTRI NAZILA
NIM. 12640025

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal:

Penguji Utama	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Ketua Penguji	:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Sekretaris Penguji	:	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Anggota Penguji	:	<u>Umaiyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : INTAN PUTRI NAZILA
NIM : 12640025
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 21 Juli 2016

Yang Membuat Pernyataan,



INTAN PUTRI NAZILA
NIM. 12640025

MOTTO

***"Allah tidak akan merubah saya,
Selama saya tidak mau berubah".***

Dan

***"Allah pasti memberikan yang terbaik,
Meskipun itu buruk bagi orang lain".***

(Sikdam Hasyim Gayo)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kepada Sang Maha Karya, penulis mempersembahkan skripsi ini teruntuk:

- **Ayahanda H. Machrus Ali dan Ibunda Hj. Zahriyah Busthomi**
Atas kasih sayang yang tulus, pengorbanan tiada tara, serta doa restu yang selalu terpanjatkan demi kesuksesan penulis
- **Suami tercinta M. Sabiq Al Hadi**
Yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan serta motivasi kepada saya untuk tidak berputus asa dalam menyelesaikan studi
- **Buah hati tersayang Farhaty Hilwa Al Hadi**
Semoga kelak menjadi anak yang sholehah dan mampu meraih cita-cita yang lebih tinggi dan mulia
- **Stirling Engine Team**
- **Keluarga besar Fisika 2012**

Skripsi ini saya persembahkan kepada mereka.

Semoga, perjuangan dan pengorbanan mereka

bermanfaat bagi kita

Amin...

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulallah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas Ridho dan Kehendak Allah SWT, Penulis Dapat Menyelesaikan Skripsi Yang Berjudul “Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do’a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza’* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan Inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Ahmad Abtokhi, M.Pd dan Farid Samsu Hananto, M.T selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umaiatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur’an serta Hadits.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Farid Samsu Hananto, M.T dan Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberikan pengarahan dan pengalaman yang berharga.
8. Ayahanda H. Machrus Ali dan Ibunda tercinta Hj. Zahriyah Busthomi yang senantiasa memberikan doa dan restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu.
9. Suami tercinta M. Sabiq Al Hadi yang selalu memberikan semangat serta mengorbankan apapun demi menyelesaikan skripsi ini.
10. Putriku tersayang Farhaty Hilwa Al Hadi yang senantiasa mendampingi sekaligus menjadi penyemangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Serta semua teman-teman yang ikut berpartisipasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang, 21 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.4.1 Manfaat Umum	5
1.4.2 Manfaat Khusus	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Energi Matahari	7
2.2 Perpindahan Panas	11
2.2.1 Konduksi	11
2.2.2 Konveksi	13
2.2.3 Radiasi	14
2.3 Radiasi Matahari	15
2.4 Potensi Pemanfaatan Energi Matahari	18
2.5 Mesin Stirling	20
2.5.1 Prinsip Kerja Mesin Stirling	21
2.5.2 Siklus Mesin Stirling	22
2.5.3 Jenis-jenis Mesin Stirling	25
2.5.4 Komponen Mesin Stirling	28
2.5.5 Kelebihan Mesin Stirling	30
2.5.6 Aplikasi Mesin Stirling	30
2.6 Reflektor	31
2.7 Hukum Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung	33
2.8 Parameter Unjuk Kerja	36
2.8.1 Torsi	36
2.8.2 RPM	38
2.8.3 Daya	39
2.8.4 Efisiensi	40
BAB III METODE PENELITIAN	41
3.1 Jenis Penelitian	41

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	41
3.3 Alat Dan Bahan.....	41
3.4 Alur Rancangan Penelitian	42
3.5 Desain Rangkaian Alat	43
3.5.1 Mesin Stirling Tipe Gamma	43
3.5.2 Reflektor Parabolik	44
3.5.3 Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Reflektor Parabolik	45
3.6 Teknik Perancangan Alat	45
3.7 Teknik Pengambilan Data	47
3.8 Teknik Pengumpulan Data	48
3.9 Teknik Analisis Data	50
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Pembuatan Alat	52
4.1.1 Prinsip Kerja Alat	54
4.2 Data Hasil Penelitian	55
4.3 Pembahasan	56
4.3.1 Pengaruh Reflektor Parabolik terhadap Intensitas Matahari.....	56
4.3.4 Hubungan Temperatur terhadap Rpm	57
4.3.5 Hubungan Rpm terhadap Torsi	59
4.3.8 Hubungan Temperatur terhadap Efisiensi	61
4.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi Kinerja Alat	62
4.5 Manfaat Energi Matahari dalam Perspektif Islam	63
BAB V PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus dalam Diagram P-V dan T-s.....	23
Gambar 2.2	Mesin Stirling Tipe Alpha.....	25
Gambar 2.3	Mesin Stirling Tipe Beta	26
Gambar 2.4	Mesin Stirling Tipe Gamma	27
Gambar 2.5	Komponen Mesin Stirling	28
Gambar 2.6	Rancang Desain Reflektor Parabola	32
Gambar 2.7	Pemantulan Cermin Cekung	33
Gambar 2.8	Sinar Istimewa Cermin Cekung 1	34
Gambar 2.9	Sinar Istimewa Cermin Cekung 2	34
Gambar 2.10	Sinar Istimewa Cermin Cekung 1	34
Gambar 2.11	Pengukuran dengan <i>Rope Brake</i>	37
Gambar 3.1	Alur Rancangan Penelitian.....	42
Gambar 3.2	Desain Rangkaian Mesin Stirling Tipe Gamma	43
Gambar 3.3	Desain Rangkaian Reflektor Parabolik.....	44
Gambar 3.4	Desain Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Reflektor Parabolik.....	45
Gambar 4.1	Reflektor Parabolik	52
Gambar 4.2	Mesin Stirling Tipe Gamma	53
Gambar 4.3	Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sistem Aliran Air	54
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Suhu dan Rpm	57
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Rpm dan Torsi	59
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Suhu dan Efisiensi	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduktivitas Termal untuk beberapa Bahan	12
Tabel 3.1	Data hasil penelitian dengan menggunakan sistem aliran air	49
Tabel 3.2	Data hasil penelitian dengan menggunakan sistem aliran air	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Mentah Hasil Penelitian
Lampiran 2	Data Olahan Hasil Penelitian
Lampiran 3	Data Perbesaran Intensitas Matahari
Lampiran 4	Dokumentasi
Lampiran 5	Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Nazila, Intan Putri. 2016. **Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah.** Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Kata Kunci : Stirling Gamma, Reflektor Parabolik, Aliran Air

Mesin stirling merupakan suatu mesin kalor yang digerakkan melalui siklus kompresi dan ekspansi pada fluida kerja dalam wujud gas. Ada 3 tipe mesin stirling yaitu tipe Alpha, Beta dan Gamma. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja reflektor parabolik terhadap intensitas radiasi matahari sebagai sumber energi panas, dan untuk mengetahui pengaruh sistem aliran air pada reservoir rendah terhadap nilai suhu, rpm, dan efisiensi mesin stiling tipe gamma. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mendiskripsikan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sumber panas reflektor parabolik dan sistem aliran air pada reservoir rendah. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja reflektor parabolik perbesaran intensitas maksimum 2,7 kali. Unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 315°C , kecepatan putar roda 594 rpm, dan efisiensi 8,6%, sedangkan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma tanpa sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 297°C , kecepatan putar roda 542 rpm, dan efisiensi 7,3%.

ABSTRACT

Nazila, Putri Intan. 2016. Performance of the Gamma type Stirling Engine by Heat Source of Parabolic Reflector and Water Flow System on the Low Reservoir. Essay. Department of Physics, Faculty of Science and Technology of the State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Ahmad Abtokhi, M. Pd (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: Gamma Stirling, Parabolic Reflectors, Water Flow

Stirling engine is a heat engine driven through a cycle of compression and an expansion of the working fluid in the gas state. There are 3 types of stirling engine ie, the Alpha, Beta and Gamma types. This research aimed to determine the effect of parabolic reflector toward intensity of solar radiation as heat sources, and the effect of water flow system on the lower reservoir toward temperature, rpm, and efficiency values of the gamma type stirling engine. This research was experimental methods describing the performance of the gamma type stirling engine by heat sources of parabolic reflector and water flow and non water flow system on the low reservoir. It can be concluded that the performance of the parabolic reflector attained maximum magnification 2,7 times. In addition, The water low system attained the temperature difference (315°C), heel rotational speed (594 rpm), and efficiency (8,6%), while The non water flow system attained the temperature difference (297°C), wheel rotational speed (542 rpm), and efficiency (7,3%).

ملخص

نازلة، فوتري إنتان. 2016. الأداء محرك ستيرلينغ نوع غاما مع مصدر الحرارة العاكس المكافئ ونظام تدفق المياه في الخزان السفلي. بحث جامعي.. شعبة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا . جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: احمد أبطخي، الماجستير، وأمية الشريفة، الماجستير

كلمات الرئيسية: ستيرلينغ غاما ، مكافئ عاكسات، تدفق المياه

محرك ستيرلينغ هو محرك حرارة التي تحرك من خلال دائرة الضغط والتوسع في فلوئد في وجود الغاز. هناك 3 أنواع من محرك ستيرلينغ هو نوع ألفا وبيتا وغاما. وتهدف هذه الدراسة إلى تحديد أداء عاكس المكافئ على شدة الإشعاع الشمسي كمصدر للحرارة، وتحديد تأثير نظام تدفق المياه في الخزان السفلي لقيم درجة الحرارة، ودورة في الدقيقة، والطاقة، وكفاءة محرك ستيرلينغ نوع غاما. يستخدم هذا البحث الطرق التجريبية لوصف أداء محرك ستيرلينغ نوع غاما مع مصادر الحرارة العاكس المكافئ ونظام تدفق المياه في الخزان السفلي. ويمكن أن نخلص إلى أن أداء عاكس المكافئ يصل التكبير الأقصى من 2.7 مرات. أداء المحرك ستيرلينغ نوع غاما مع نظام تدفق المياه في الخزان السفلي يصل الفرق في درجة الحرارة من 315 درجات مئوية (315°C)، 594 دورة في الدقيقة عجلة سرعة الدوران، وكفاءة 8,6%، في حين أن أداء المحرك ستيرلينغ نوع غاما مع نظام تدفق المياه في الخزان السفلي يصل الفرق في درجة الحرارة من 297 درجات مئوية (297°C)، 542 دورة في الدقيقة سرعة دوران عجلة، وكفاءة 7,3%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan makhluk hidup. Sumber energi berasal dari makhluk hidup atau benda-benda lainnya yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Energi dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Kenyataan inilah yang mendasari konsep hukum kekekalan energi, dimana energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi menjadi energi lain. Seperti energi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik dan energi listrik.

Seiring dengan perkembangan zaman, populasi manusia semakin bertambah, dan kebutuhan akan energipun terus meningkat, sedangkan persediaan energi semakin menipis. Untuk dapat memenuhi kebutuhan energi yang digunakan oleh manusia maka perlu dilakukan pemanfaatan energi yang tersedia di alam secara optimal.

Alam semesta merupakan hadiah yang besar yang diberikan Sang Pencipta kepada makhluk-Nya. Banyak bagian dari alam yang dapat dimanfaatkan untuk kelangsungan hidup manusia. Salah satu sumber energi yang melimpah di alam adalah sumber energi matahari. Jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar melebihi kebutuhan konsumsi energi dunia. Matahari mampu menyediakan energi dalam waktu yang lama dan tidak akan habis, serta merupakan sumber energi *renewable* yang ramah lingkungan, murah, mudah didapatkan, dan lebih efisien. Terutama secara geografis Indonesia dilewati garis

khatulistiwa, yang setiap harinya selalu mendapatkan radiasi sinar matahari sepanjang tahun, sehingga sangat berpotensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi.

Allah SWT menjelaskan kebesaran-Nya dengan menciptakan matahari sebagai salah satu sumber kehidupan makhluk hidup, yang memberikan manfaat besar untuk kehidupan. QS. al-Furqon (25): 61, menyebutkan:

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴿٦١﴾

“Maha suci Allah yang menjadikan di langit gugusan-gugusan bintang dan Dia menjadikan juga padanya pelita (matahari) dan bulan yang bercahaya” (QS. al-Furqon: 61)

Menurut Ibn Katsir kata سِرَاجًا artinya pelita dalam bentuk tunggal yang berarti mempunyai sumber cahaya sendiri atau memberikan cahaya pada benda yang lain. Pelita dalam kamus Bahasa Indonesia diartikan sebagai lampu (dengan bahan bakar minyak). Pelita merupakan suatu alat yang dapat membuat cahaya sendiri, bukan menerima cahaya dari suatu barang yang lain. Matahari seperti pelita yang bisa memancarkan sinarnya sebagaimana cahayanya tampak dalam bentuk fisiknya. Matahari memiliki cahaya, dan cahayanya memiliki energi panas, sehingga adanya matahari sebagai pelita memberikan manfaat yang besar untuk kehidupan (ash-Shiddieqy, 2002).

Hingga kini banyak daerah terpencil di Indonesia seperti daerah pegunungan atau pedalaman, masih kesulitan mendapatkan listrik. Kondisi ini membuat wilayah-wilayah tersebut sulit berkembang. Umumnya masyarakat menggunakan mesin diesel sebagai pengganti listrik, atau bahkan mereka hanya

menggunakan api sebagai sumber penerangan, sedangkan alat-alat tersebut menggunakan bahan bakar fosil berupa solar dan minyak bumi, yang termasuk salah satu energi tidak terbarukan, apabila digunakan secara terus-menerus, maka ketersediaan energi fosil tersebut akan berkurang. Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Emisi yang ditimbulkan oleh sisa pembakaran minyak bumi mengandung gas-gas yang dapat menyebabkan pemanasan global, termasuk polutan-polutan yang bersifat racun bagi tubuh manusia, serta menyebabkan pencemaran lingkungan.

Salah satu cara untuk membantu mengatasi masalah kelangkaan listrik, yaitu dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi alternatif. Banyak perkembangan teknologi mengenai energi matahari sebagai sumber energi terbarukan, salah satunya dengan menerapkan prinsip mesin stirling (*stirling engine*).

Mesin stirling merupakan sebuah mesin dengan sistem pembakaran eksternal yang merubah energi panas menjadi energi mekanik. Prinsip penggunaan energi panas matahari sebagai sumber energi masukan pada mesin stirling dapat dilakukan dengan cara pemfokusan oleh lensa (*concentrator*), dan pemantulan oleh cermin cekung (*reflector*). Sinar matahari dikumpulkan dan dipantulkan oleh cermin yang berbentuk parabola, titik fokus sinar yang dihasilkan kemudian dijadikan sebagai sumber panas pada mesin stirling. Reflektor yang digunakan berbentuk parabola dari bahan aluminium yang dilapisi skotlet.

Fluktuasi tekanan yang dihasilkan dari perbedaan suhu akan menggerakkan piston dan *displacer* yang terhubung dengan roda gila (*flywheel*), sehingga menjadi kerja mekanik yang menghasilkan listrik, dengan metode penambahan aliran air pada reservoir rendah, diharapkan menghasilkan daya yang besar untuk menggerakkan roda gila.

Beberapa penelitian terdahulu tentang mesin stirling antara lain: oleh Syafriyudin pada tahun 2013 tentang “Pembangkit listrik Tenaga Panas Matahari Berbasis Mesin Stirling untuk Skala Rumah Tangga”, disimpulkan bahwa kecepatan putaran mesin maksimal mencapai 482 rpm pada suhu 86,9°C.

Widodo pada tahun 2013 melakukan “Studi Eksperimen *Output Daya* pada Motor Stirling TD 295 Tipe Gamma dengan Menggunakan *Stirling Engine Control V.1.5.0*” dihasilkan unjuk kerja mesin mencapai 275 rpm, suhu masukan 31,90°C.

Syafriyudin dan Susatriawan pada tahun 2014 membuat “Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari dengan Penjejak Panas Berbasis Mesin Stirling” mendapatkan panas tertinggi pada Suhu 137,4°C, dapat menggerakkan mesin stirling dengan kecepatan 200 rpm.

Berdasarkan penjelasan diatas, pentingnya dilakukan penelitian tentang “Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah”, dengan harapan tersedianya peralatan berbasis mesin stirling tipe tertentu yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, terutama pada kebutuhan listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana unjuk kerja reflektor parabolik terhadap intensitas radiasi matahari sebagai sumber energi panas pada mesin stirling tipe gamma?
2. Bagaimana pengaruh sistem aliran air pada reservoir rendah terhadap nilai suhu, rpm, dan efisiensi mesin stiling tipe gamma?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui unjuk kerja reflektor parabolik terhadap intensitas radiasi matahari sebagai sumber energi panas pada mesin stirling tipe gamma.
2. Untuk mengetahui pengaruh sistem aliran air pada reservoir rendah terhadap nilai suhu, rpm, dan efisiensi mesin stiling tipe gamma.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Umum

1. Sebagai informasi bahwa salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan energi listrik adalah bersumber dari energi matahari.
2. Untuk mengurangi penggunaan energi yang tak terbarukan seperti fosil yang sampai saat ini masih dominan digunakan dibandingkan energi terbarukan.

1.4.2 Manfaat Khusus

Manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat lebih memahami unjuk kerja dan karakterisasi mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan reflektor parabolik.

1.5 Batasan Masalah

1. Menggunakan mesin stirling tipe gamma
2. Mesin stirling dirancang dalam skala *prototype*
3. Menggunakan sumber energi panas matahari
4. Menggunakan reflektor parabolik dari aluminium yang dilapisi skotlet
5. Air pendinginnya menggunakan es batu

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Matahari dalam Bahasa Arab adalah الشمس, sedangkan dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia matahari diartikan sebagai suatu benda angkasa yang menjadi pusat tata surya yang berisi gas dan mendatangkan terang dan panas pada bumi saat siang hari. Matahari sebagai pusat tata surya, dan juga merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan. Nicolaus Copernicus adalah orang pertama yang mengemukakan teori bahwa matahari adalah pusat peredaran tata surya pada abad 16. Teori ini kemudian dibuktikan oleh Galileo Galilei dan pengamat angkasa lainnya. Teori yang kemudian dikenal dengan nama heliosentrisme ini mematahkan teori geosentrisme (bumi sebagai pusat tata surya) yang dikemukakan oleh Ptolemeus. Bentuk dari matahari itu sendiri bulat dan terdiri dari plasma panas bercampur medan magnet. Diameternya sekitar 1.392.684 km, kira-kira 10^9 kali diameter Bumi, dan massanya sekitar 2×10^{30} kilogram, (330.000 kali massa Bumi) (Avivi, 2015).

Matahari memancarkan cahaya sebagai gelombang elektromagnetik. Cahaya selalu bergerak dan tidak akan diam, dalam perambatannya tidak memerlukan zat perantara sehingga dapat menembus ruang angkasa yang vakum. Cahaya ini merupakan kepunyaan Allah SWT yang diberikan kepada alam semesta termasuk di dalamnya manusia. Para ahli fisika menguji teori cahaya secara eksperimental dan matematis dengan menerangkan bahwa cahaya merupakan kumpulan besar partikel cahaya. Cahaya adalah suatu bentuk energi

dan mirip dengan panas. Hal inilah yang membedakan antara matahari dan bulan.

Allah SWT berfirman dalam QS. Nuh (71): 16, sebagaimana berikut:

وَجَعَلَ الْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ الشَّمْسَ سِرَاجًا (١٦)

“Dan Allah menciptakan padanya bulan sebagai cahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita” (QS. Nuh: 16).

Ayat di atas juga diterangkan dalam surat an-Naba’ (78): 13, yang berbunyi:

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا (١٣)

“Dan Kami jadikan pelita yang amat terang (matahari)” (QS. an-Naba’: 13).

Allah SWT menciptakan matahari sebagai سِرَاجًا atau pelita seperti yang disebutkan dalam dua ayat di atas, menurut Hans Wehr kata سِرَاجًا diartikan sebagai *lamp* atau *light* yang bermaksud lampu atau pelita. Makna وَهَّاجًا diartikan sebagai *burn, blaze, flame* yang bermaksud membakar, menyala, berapi. Matahari sebagai سِرَاجًا وَهَّاجًا yaitu mengeluarkan cahaya sendiri yang amat terang melalui proses tertentu yang berlaku di dalamnya, sedangkan نُورًا diartikan sebagai *brightness, gleam, glow* yang bermaksud bersinar, menyilau. Bulan sebagai نُورًا tidak mengeluarkan cahaya sendiri sebaliknya ia mamantulkan cahaya matahari yang menyimpannya (Juoro, 2011).

Ayat-ayat ini menjelaskan mengenai perbedaan antara matahari dan bulan dalam konteks cahaya yang dikeluarkan kedua-duanya. Mengikut al-Quran, matahari membakar dan dengan itu mengeluarkan cahaya sedangkan bulan hanya bersinar yaitu menerima dan memantulkan cahaya. Kiasannya adalah seperti lampu dan cermin, lampu mengeluarkan cahaya, sedangkan cermin hanya memantulkan cahaya. Kenyataan ini selaras dengan penemuan sains, kerana

matahari adalah sebuah bintang, sedangkan bulan adalah satelit. Seperti bintang-bintang yang lain, kestabilan matahari dan sinaran cahaya yang keluar daripadanya bergantung kepada tenaga yang mampu dihasilkannya, sehingga di permukaan matahari terdapat sumber energi yang dapat dibakar (dinyalakan) dan energinya dapat dikirim sampai ke bumi (Juoro, 2011).

Penemuan ilmiah telah membuktikan bahwa panas permukaan matahari mencapai enam ribu derajat, sedangkan panas pusat matahari mencapai tiga puluh juta derajat disebabkan oleh materi-materi bertekanan tinggi yang ada pada matahari. Sinar matahari menghasilkan energi berupa ultraviolet 9% cahaya 46%, dan inframerah 45%, karena itulah ayat suci di atas menamai matahari sebagai siraja atau pelita, karena mengandung cahaya dan panas secara bersamaan (Shihab, 2003: 11).

Energi matahari adalah energi dari cahaya matahari yang dapat diperbarui dan memiliki banyak manfaat seperti menghasilkan listrik menggunakan sel surya. Energi matahari telah banyak dimanfaatkan di belahan dunia dan jika dieksplotasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan dan mendinginkan. Teknologi tenaga panas matahari yang ada di pasar saat ini sangat efisien dan bisa diandalkan. Saat ini pasar menyediakan tenaga matahari untuk aplikasi dengan cakupan luas (Arifin dkk, 2014).

Matahari memiliki energi yang sangat besar. Energi ini diteruskan hingga ke permukaan bumi melalui perpindahan panas radiasi. Radiasi matahari terjadi

akibat adanya gelombang elektromagnetik, yang memiliki karakteristik secara umum sama, namun dibedakan dalam pengaruhnya, hal ini disebabkan karena perbedaan panjang gelombang masing-masing cahaya. Seluruh panjang gelombang pada daerah infrared, cahaya yang terlihat (*visible light*), dan salah satu bagian spektrum sinar ultraviolet merupakan daerah-daerah yang direferensikan sebagai radiasi panas, karena pada bagian ini spektrum elektromagnetik menghasilkan efek memanaskan. Radiasi panas terjadi pada spektrum cahaya dengan panjang gelombang $0,1 \times 10^{-6}$ m s/d 100×10^{-6} m (Incopera, 2002).

Matahari adalah pabrik tenaga nuklir dengan memakai proses fusi yang mengubah sejumlah 4 ton massa hidrogen yang banyak terdapat di jagad raya menjadi helium tiap detiknya dan menghasilkan energi dengan laju 10^{20} kW-jam/detik. Berbeda dengan proses fusi nuklir yang berbahaya, proses yang terjadi merupakan yang paling bersih dan gratis, selain itu energi ini tidak memerlukan sarana angkutan atau transmisi jarak jauh, tidak berisik serta memiliki potensi yang besar di berbagai lokasi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Energi matahari terdiri dari cahaya dan panas yang dipancarkan oleh matahari dalam bentuk radiasi elektromagnetik, dengan teknologi saat ini kita dapat menangkap radiasi ini dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan seperti pemanasan atau listrik. Dua tipe dasar tenaga matahari adalah “sinar matahari” dan “*photovoltaic*” (*photo*=cahaya, *voltaic*=tegangan) tenaga matahari yang melibatkan pembangkit listrik dari cahaya.

Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari di seluruh wilayah Indonesia. Pemanfaatan energi ini dapat dilakukan secara termal maupun melalui energi listrik. Pemanfaatan secara termal dapat dilakukan secara langsung dengan membiarkan objek pada radiasi matahari, atau menggunakan peralatan yang mencakup kolektor dan konsentrator surya, sehingga dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan bahan yang menjadi sumber energi pada generator listrik.

2.2 Perpindahan Panas

Jika dua benda atau lebih terjadi kontak termal, maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur tinggi, ke benda yang bertemperatur rendah. Terdapat tiga proses perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Giancoli, 2001).

2.2.1 Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan panas yang mengalir dari benda yang bertemperatur tinggi, ke benda yang bertemperatur rendah, dengan benda dalam keadaan diam. Perpindahan panas konduksi, dipengaruhi oleh konduktivitas termal bahan. Berikut adalah konduktivitas termal beberapa bahan pada 0°C (Giancoli, 2001):

Tabel 2.1 Konduktivitas termal untuk beberapa bahan

Bahan	Konduktivitas termal (k)	
	Kkal/smC	J/smC
Perak	10×10^{-2}	420
Tembaga	$9,2 \times 10^{-2}$	380
Aluminium	$5,0 \times 10^{-2}$	202
Baja	$1,1 \times 10^{-2}$	40
Es	4×10^{-2}	2
Gelas	$2,0 \times 10^{-2}$	0,84
Batu bata	$2,0 \times 10^{-2}$	0,84
Air	$1,4 \times 10^{-2}$	0,2
Kayu	$0,5 \times 10^{-2}$	0,08-0,16
Isolator fiberglass	$0,2-0,4 \times 10^{-2}$	0,048
Gabus	$0,12 \times 10^{-2}$	0,042
Wol	$0,1 \times 10^{-2}$	0,040
Udara	$0,055 \times 10^{-2}$	0,023

Adanya suatu gradien temperatur di dalam sebuah zat homogen akan menyebabkan laju perpindahan kalor di dalam medium tersebut yang dapat dihitung dengan rumus (Pitts & Sissom, 2011):

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2.1)$$

dimana:

Q = Laju perpindahan kalor (Watt)

A = Luasan perpindahan panas arah normal Q (m^2)

$\frac{\partial T}{\partial n}$ = Gradien temperatur ke arah normal terhadap luas A

k = Konduktivitas termal

Tanda minus pada persamaan (2.1) di atas digunakan untuk menunjukkan bahwa arah perpindahan kalor bergerak dari daerah yang bertemperatur tinggi menuju daerah bertemperatur rendah.

2.2.2 Konveksi

Konveksi merupakan proses transfer kalor dengan pergerakan molekul dari satu tempat ke tempat yang lain. Laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan hukum persamaan Newton sebagai berikut (Koestur, 2002):

$$Q = h.A.(T_w - T_{\infty}) \quad (2.2)$$

dimana:

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas ($\text{w/m}^2\text{°C}$)

A = Luasan perpindahan panas arah normal Q (m^2)

T_w = Temperatur permukaan benda (°C)

T_{∞} = Temperatur fluida (°C)

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transfer energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida di sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya (Awwaludin, 2007).

Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa (Awwaludin, 2007).

2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium (ini yang menyebabkan mengapa perpindahan panas radiasi sangat penting pada ruang vakum), disamping itu jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut. Kedua hal tersebut yang membedakan antara peristiwa panas konduksi dan konveksi dengan perpindahan panas radiasi (Koestoer, 2002: 183).

Radiasi adalah proses perpindahan panas dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah tanpa memerlukan zat atau benda penghubung. Panas terpancar dengan cara radiasi gelombang elektromagnetik, perpindahan secara radiasi dipengaruhi oleh (Wilis, 2014):

1. Luas permukaan benda
2. Sifat permukaan benda

3. Kedudukan atau posisi permukaan yang akan menentukan besar pancaran yang dapat diterima oleh permukaan.

Pembangkit panas ideal atau benda hitam akan memancarkan energi sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak benda dan berbanding lurus dengan luas permukaan, hal ini sesuai dengan prinsip termodinamika (Wilis, 2014):

$$Q_{\text{rad}} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2.3)$$

dimana:

Q_{rad} = Energi radiasi yang diterima kolektor (W)

e = Emisivitas

σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

A = Luas permukaan (m^2)

T = Suhu (K)

2.3 Radiasi Matahari

Matahari merupakan salah satu dari sekian banyak bintang yang paling dekat dengan bumi. Energi dari matahari merupakan penopang utama kehidupan di bumi, energi tersebut dipindahkan dari matahari ke bumi dalam bentuk radiasi cahaya. Bintang-bintang memancarkan energinya dalam bentuk cahaya, selama keabadiannya, bintang memancarkan cahaya dan mengisi seluruh ruang dan sebagai akibatnya, seluruh langit akan menjadi terang benderang, artinya manusia di bumi hanya bisa merasakan atau berada pada waktu siang tanpa malam hari meski bumi berputar pada porosnya dan sebagian permukaannya membelakangi matahari (Agus, 2008).

Suatu bintang yang memancarkan sejumlah J paket kuantum cahaya atau foton persatuan waktu, cahaya ini memancar ke segala arah dan ruang pada jarak R dari sumber paket cahaya terdistribusi pada permukaan bola (dengan radius R) seluas $4\pi R^2$, karena itu jumlah paket cahaya persatuan waktu persatuan luas sejauh R dari bintang adalah $J/4\pi R^2$. Misalkan jari-jari bumi r maka bumi mempunyai penampang lintang seluas πr^2 (dipandang sebagai lingkaran dengan jari-jari r), dan jika jarak antara bumi dan bintang adalah R , maka jumlah foton yang sampai pada permukaan bumi persatuan waktu adalah:

$$\left(\frac{J}{4\pi R^2}\right)\pi r^2 = Jr^2/4R^2 \quad (2.4)$$

Matahari lahir dalam keadaan menyimpan sejumlah besar energi di dalam volume yang kecil. Energi ini dipancarkan dan menghangatkan alam semesta sampai akhirnya mencapai keadaan setimbang dengan seluruh ruangan yang tetap dingin. Menurut perhitungan para ahli astrofisika, seandainya energi seluruh bintang di jagat raya ini dipancarkan seluruhnya maka energi tersebut masih belum mampu untuk membuat alam semesta ini hangat atau terang benderang. Pergantian malam dan siang mengisyaratkan adanya paket-paket dari kondisi tidak seimbang di alam semesta. Kehidupan bergantung pada keberadaan paket-paket ini. Fenomena siang dan malam menuntun pada keterbatasan alam, baik dari aspek waktu maupun ruang.

Cahaya dan panas adalah dua perwujudan berbeda radiasi elektromagnetik, yang dapat memiliki panjang gelombang yang berbeda. Untuk mempermudah, para ilmuwan membagi spektrum ini berdasarkan panjang gelombang, dan mereka memberi nama berbeda bagi setiap bagian. Misalnya, radiasi dengan panjang

gelombang terpendek (10^{-9}cm) disebut sinar gamma. Sinar gamma memiliki energi yang sangat besar. Panjang gelombang terpanjang disebut gelombang radio, gelombang ini panjangnya mencapai beberapa kilometer namun membawa energi sangat kecil (karena kandungan energi ini, gelombang radio sama sekali tidak berbahaya bagi manusia, sementara terpapar sinar gamma bisa berakibat fatal). Cahaya adalah sebuah bentuk radiasi elektromagnetik yang terletak di antara kedua ekstrem panjang gelombang tersebut (Harun, 2003).

Faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari di bumi antara lain (Ardiani, 2005):

- a. Sudut datang sinar matahari, sinar datang tegak lurus memberikan energi sinar yang lebih besar dibanding yang datangnya condong, karena sinar datang tegak lurus akan menyinari wilayah yang lebih sempit dibandingkan sinar yang condong.
- b. Panjang hari, bergantung pada musim dan letak lintang suatu tempat.
- c. Pengaruh atmosfer, kejernihan atmosfer memberikan energi radiasi yang kuat, semakin banyak bahan penyerap sinar di atmosfer energi radiasi semakin turun.

Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi disebut *insolation* (*incoming solar radiation*) yang terdiri dari radiasi langsung dan radiasi baur. Dari seluruh radiasi yang datang hanya *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) yang dapat dimanfaatkan tanaman. Kisaran radiasi PAR mendekati radiasi sinar tampak. Rata-rata energi radiasi yang datang di permukaan atmosfer selama satu tahun disebut tetapan radiasi surya (*solar constant*) yang besarnya sekitar 1.360 W/m^2 (Usmadi, 2006).

Untuk mendukung teknik pencahayaan buatan yang benar, tentu saja perlu diketahui seberapa besar intensitas cahaya yang dibutuhkan pada suatu tempat. Maka, untuk mengetahui seberapa besar intensitas cahaya tersebut dibutuhkan suatu alat ukur intensitas cahaya dengan menggunakan sebuah alat yang bernama luxmeter. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan luxmeter menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux. Satuan Internasional intensitas cahaya adalah Candela atau W/m^2 . Konversi satuan radiasi yaitu (Woodward, 1983):

$1 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	$= 1 \text{ W.m}^{-2}$
$10.000 \text{ foot-candle}$	$= 350 \text{ W.m}^{-2}$
1 foot-candle	$= 10,76 \text{ lux}$
1 lux	$= 92,96 \times 10^{-3} \text{ foot-candle}$
1 lux	$= 3,252 \text{ mW.m}^{-2}$
1 lux	$= 0,00325 \text{ W.m}^{-2}$

2.4 Potensi Pemanfaatan Energi Matahari

Sejak dahulu energi matahari sudah dimanfaatkan oleh manusia, akan tetapi pemanfaatannya masih bersifat tradisional. Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 10%, dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar $5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 9%, sehingga potensi angin rata-rata Indonesia sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 9% (Pawawoi, 2013).

Ada 2 macam teknologi untuk memanfaatkan potensi energi surya yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik. Energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi, dan lemari pendingin. Pemanfaatan energi surya khususnya dalam bentuk SHS (*solar home systems*) sudah mencapai tahap semi komersial. Komponen utama suatu SESF adalah Sel fotovoltaik (mengubah penyinaran matahari menjadi listrik), *Balance of system* (BOS), Unit penyimpan energi (baterai) dan peralatan penunjang lain seperti inverter untuk pompa, sistem terpusat, dan sistem hibrid.

Prospek penggunaan fotovoltaik di masa mendatang cukup cerah. Dengan berlimpahnya energi surya tersebut maka pengembangan listrik tenaga surya yang berbasis kepada efek fotovoltaik dari piranti sel surya sebagai salah satu sumber tenaga listrik yang bebas polusi dan alami menjadi suatu pilihan yang tepat untuk diterapkan di Indonesia. Adapun alasan yang mendukung hal tersebut yakni (Hanif, 2012):

- a. Kondisi iklim di Indonesia yang sangat mendukung karena intensitas radiasi matahari di Indonesia relatif tinggi serta stabil, sehingga modul surya mendapat daya yang optimal sepanjang tahun.
- b. Instalasi yang lebih sederhana dari pada pemasangan sumber energi terbarukan lainnya, sehingga memungkinkan pemanfaatan energi ini untuk kebutuhan listrik baik dalam skala kecil sampai skala besar.

- c. Indonesia merupakan Negara kepulauan terdiri dari 13 ribu pulau, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menyediakan jaringan pembangkit listrik pada setiap daerahnya hingga sampai ke tiap pelosok.
- d. Terjangkau di seluruh pelosok Indonesia dengan ketersediaan radiasi surya yang merata sepanjang tahun. Sistem energi matahari dapat diinstal di lokasi terpencil sehingga lebih praktis dan hemat biaya.

2.5 Mesin Stirling

Mesin stirling pertama kali ditemukan oleh Robert Stirling dari Skotlandia pada tahun 1816 (belum dinamakan mesin stirling). Awal tahun 1884, nama mesin stirling disarankan oleh Fleeming Jenkin, dengan hanya berlandaskan bahwa mesin itu harus dinamakan berdasarkan penemunya. Mesin stirling merupakan suatu mesin kalor yang digerakkan melalui siklus kompresi (menyusut) jika didinginkan dan ekspansi (memuai) jika dipanaskan pada fluida kerja dalam wujud udara atau gas (helium, hidrogen, nitrogen, metanol, dsb) dalam sistem . Mesin stirling beroperasi melalui penggunaan sumber panas eksternal dan *heat sink* eksternal, masing-masing dijaga agar memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar.

Proses peredaran termodinamika dikenal dua jenis proses yaitu (Cronenberg, 2005):

- a. Proses irreversible adalah proses termodinamik yang berlangsung secara alami seluruhnya. Proses tersebut berlangsung secara spontan dalam satu arah tapi tidak pada arah sebaliknya. Contoh kalor berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah.

b. Proses Reversibel adalah proses termodinamik yang dapat berlangsung secara bolak-balik. Sebuah sistem yang mengalami idealisasi, proses reversibel selalu mendekati keadaan kesetimbangan termodinamik antara sistem itu sendiri dengan lingkungannya. Proses reversibel merupakan proses seperti keseimbangan (*quasi equilibrium process*).

2.5.1 Prinsip Kerja Mesin Stirling

Mesin stirling memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan, sehingga sebuah mesin dapat berputar. Mesin stirling akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur tersebut mengakibatkan adanya perbedaan tekanan yang akhirnya menghasilkan ekspansi dari fluida kerjanya. Ekspansi inilah yang dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi kerja oleh piston yang kemudian dihubungkan ke poros engkol (*crankshaft*) agar menjadi kerja mekanik. Poros engkol ini kemudian dihubungkan ke flywheel agar dapat terjadi siklus berikutnya (Widodo, 2013).

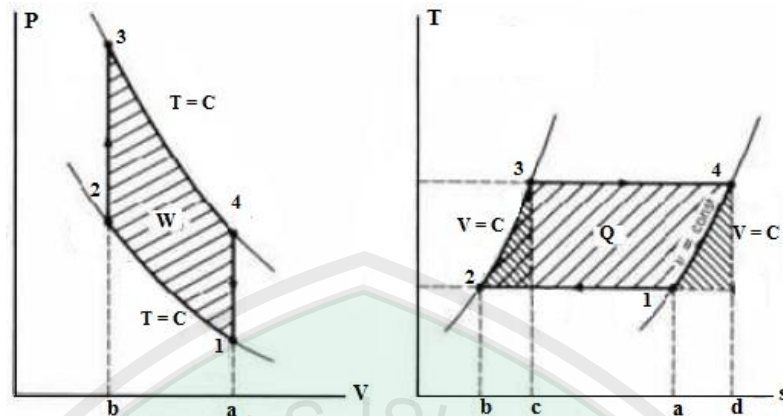
Mesin stirling berisi sejumlah gas yang dipindahkan antara sisi dingin dan panas terus-menerus. Perpindahan gas ini dimungkinkan karena adanya piston displacer yang memindahkan gas antara dua sisi dan piston power mengubah volume internal karena ekspansi dan kompresi gas. Mesin stirling memanfaatkan adanya perubahan tekanan dan volume pada gas dalam sistem tertutup, dimana fluida kerjanya secara permanen terkurung di dalam sistem.

Gas pada sistem dikontakkan pada reservoir panas sehingga sistem menyerap panas, akibat adanya panas ini menyebabkan volume gas bertambah,

karena sistem dalam keadaan tertutup maka tidak ada gas yang keluar, sehingga penambahan volume gas karena pemanasan menimbulkan perubahan tekanan yang cukup besar. Tekanan yang dihasilkan ini kemudian digunakan untuk menggerakkan piston. Sementara itu, *displacer* menyusup ke ruang dingin dengan melepas panas pada saat bersamaan. Karena penurunan suhu ini, volume gas berkurang dan sistem menerima kerja kompresi yang menyebabkan volume gas kembali ke keadaan awal. Keadaan tersebut terjadi berulang secara periodik sehingga terjadi gerakan piston yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan menghubungkannya ke roda.

2.5.2 Siklus Mesin Stirling

Siklus mesin stirling terdiri dari empat proses yang dikombinasikan menjadi sebuah siklus tertutup, yaitu: dua proses *isothermal* dan dua proses *isochorik*. Proses-proses tersebut ditunjukkan pada diagram tekanan-volume (P-V) dan diagram temperatur-entropi (T-s). Luas area didalam diagram siklus *stirling* tersebut adalah kerja indikator yang dihasilkan dari siklus tersebut. Kerja dihasilkan oleh siklus hanya dihasilkan dari proses *isothermal*nya saja. Untuk memfasilitasi kontinuitas kerja dari dan menuju sistem, sebuah *flywheel* harus diintegrasikan dalam rancangan mesin stirling. *Flywheel* berguna sebagai *storage device* untuk energi. Dalam siklus ini, panas harus ditransmisikan dalam seluruh prosesnya.



Gambar 2.1 Siklus dalam diagram P-V dan T-s (Vineeth, 2011)

Kerja yang dihasilkan dari siklus mesin stirling tertutup direpresentasikan oleh luas area 1-2-3-4 pada diagram P-V. Dari Hukum Pertama Termodinamika, kerja *output* harus sama dengan panas *input* yang direpresentasikan pada area 1-2-3-4 pada diagram T-S. Regenerator dapat digunakan untuk mengambil panas dari fluida kerja pada proses 4-1 dan mengembalikan lagi panas dalam proses 2-3. Siklus *Carnot* memperlihatkan efisiensi teoritik dari sebuah siklus termodinamika.

1. Proses 1-2 : Kompresi *Isothermal*

Piston pada silinder panas memberikan kerja pada fluida kerja dan mengkompresikannya secara *isothermal* pada temperatur dingin, pada saat hal yang sama terjadi juga pembuangan kalor ke lingkungan. Karena fluida kerja bertekanan rendah pada saat itu, diperlukan kerja yang lebih sedikit untuk mengkompresikan daripada kerja yang dihasilkan pada proses ekspansi.

- i. Pembuangan panas ke silinder dingin.
- ii. Q_{12} = area 1-2-b-a pada diagram T-s
- iii. Fluida kerja dikenai kerja (pertukaran energi dari *flywheel*)
- iv. W_{12} = area 1-2-b-a pada diagram P-V

2. Proses 2-3 : Kompresi *Isokhorik*

Piston mentransfer fluida kerja secara *isochoric* melewati regenerator menuju silinder panas. Kalor dihantarkan ke fluida kerja ketika gas melewati regenerator, mengakibatkan naiknya temperatur fluida kerja ketika masuk ke silinder panas.

i. Pemasukan Panas (pertukaran energi dari regenerator)

ii. Q_{23} = area 2-3-c-b pada diagram T-s

iii. $W_{23} = 0$

3. Proses 3-4 : Ekspansi *Isothermal*

Fluida kerja dengan tekanan tinggi menyerap panas dari area panas dan mengekspansikannya secara *isothermal*, yang mengakibatkan kerja pada piston.

i. Panas ditransferkan dari sumber panas

ii. Q_{34} = area 3-4-d-c pada diagram T-s

iii. Kerja dilakukan oleh fluida kerja (pertukaran energi ke *flywheel*)

iv. W_{34} = area 3-4-a-b pada diagram P-V

4. Proses 4-1 : Kompresi *Isokhorik*

Piston ekspansi mentransfer fluida kerja secara *isochoric* melewati regenerator ke sisi dingin (silinder dingin) dari mesin. Kalor diserap dari fluida kerja ketika fluida kerja melewati regenerator, hal ini juga membuat temperatur fluida kerja menurun pada saat menuju silinder dingin.

i. Pelepasan kalor (pertukaran energi ke regenerator)

ii. Q_{41} = area 1-4-d-a pada diagram T-s

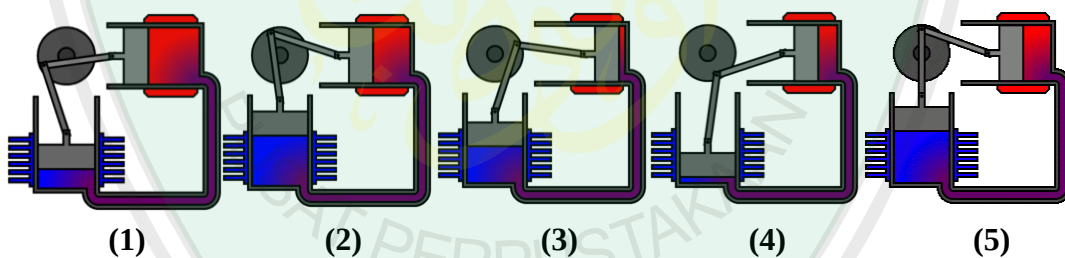
iii. $W_{41} = 0$

2.5.3 Jenis-jenis Mesin Stirling

Berdasarkan prinsip kerjanya, terdapat 3 jenis mesin stirling, yaitu (Reynolds, 1996):

a. Alpha Stirling

Mesin stirling alpha berisi kekuatan dua piston dalam silinder yang terpisah, satu berada di ruang dingin dan satunya berada di ruang panas. Silinder panas terletak di dalam suhu tinggi penghantar panas (silinder yang dibakar) dan silinder dingin terletak di dalam displacer suhu rendah. Jenis mesin ini memiliki rasio *power to volume* tinggi, namun memiliki masalah teknis karena apabila suhu piston tinggi biasanya panas akan merambat ke pipa pemisah silinder. Piston ini biasanya membawa isolasi yang cukup besar untuk bergerak jauh dari zona panas dengan mengorbankan beberapa ruang mati tambahan.



Gambar 2.2 Mesin stirling tipe alpha (Reynolds, 1996)

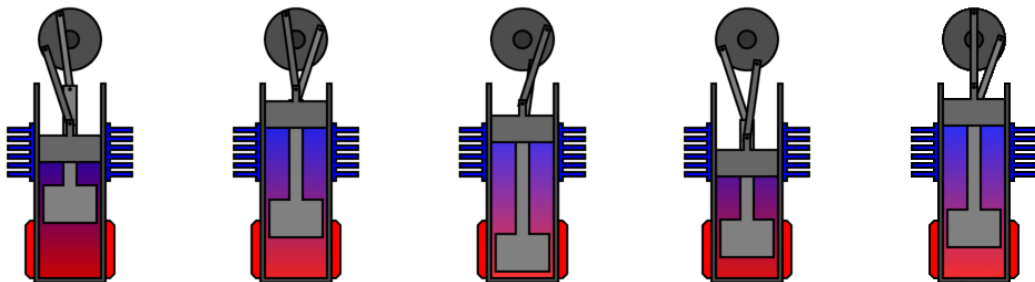
Langkah-langkah mesin stirling alpha:

1. Sebagian besar gas berkerja dalam silinder panas yang telah dipanaskan melalui dinding silinder panas dan mendorong piston panas ke bagian bawah (menarik udara), dengan menarik udara dari bagian piston dingin. Pada titik 90° adalah titik balik dimana piston panas akan menjadi sebuah siklus mesin stirling.

2. Gas sekarang pada volume maksimal. Piston di dalam silinder panas mulai bergerak, dan sebagian besar gas panas masuk ke dalam silinder dingin, dimana mendingin dan terjadi penurunan tekanan.
3. Hampir semua gas sekarang berada di silinder dingin dan pendinginan berlanjut. Piston dingin didukung oleh momentum roda gila (pasangan piston lain pada poros yang sama) kompresi bagian gas yang tersisa.
4. Gas pada silinder dingin mencapai volume minimum, dan sekarang akan masuk kedalam silinder panas dimana gas ini akan dipanaskan sekali lagi, dan memberikan lagi kekuatan pada piston untuk mendorong piston panas.

b. Beta Stirling

Mesin stirling beta memiliki piston daya tunggal yang diatur dalam silinder yang sama pada poros yang sama sebagai displacer piston. Silinder piston displacer yang cukup longgar hanya berfungsi untuk antar jemput gas panas dari silinder panas ke silinder dingin. Gas mendorong dan memberikan piston kekuatan ketika silinder dipanaskan, kemudian piston terdorong ke ruang dingin (titik bawah), sehingga silinder mendapat momentum dari mesin, dan dihubungkan dengan roda gila, tidak seperti jenis alpha, jenis beta tidak akan menyebabkan isolator (pipa pemisah jika dalam bentuk alpha) menjadi panas.

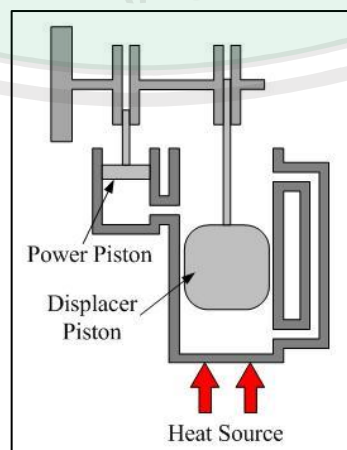


Gambar 2.3 Mesin stirling tipe beta (Reynolds, 1996)

1. Piston tenaga (abu-abu atas) telah mengkompresi gas, piston displacer (abu-abu bawah) telah bergerak sehingga sebagian besar gas panas masuk kedalam silinder panas.
2. Gas yang dipanaskan meningkatkan tekanan dan mendorong piston tenaga ke batas terjauh (titik bawah).
3. Piston displacer sekarang bergerak ke titik puncak, dan mengirim gas panas ke silinder dingin.
4. Gas didinginkan dan sekarang dikompresi oleh piston tenaga dengan momentum dari roda gila. Langkah ini membutuhkan energi yang lebih sedikit, karena tekanannya turun ketika didinginkan.

c. Gamma Stirling

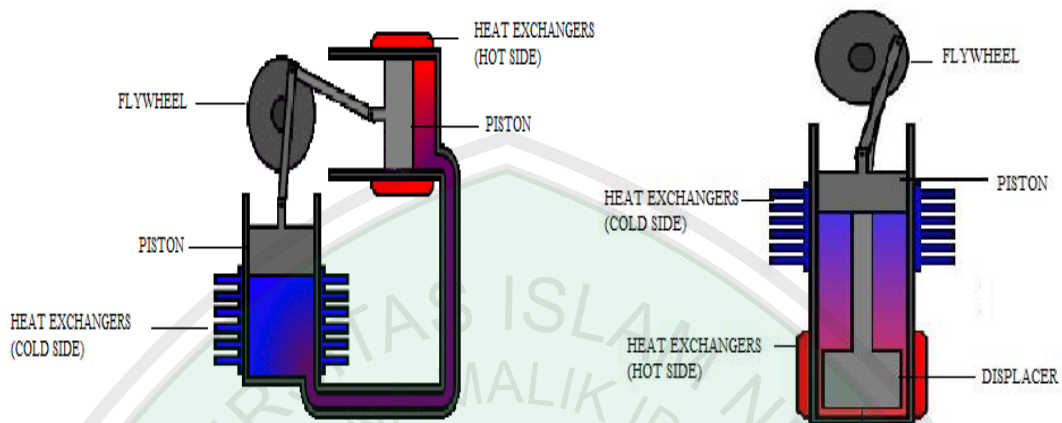
Mesin stirling gamma hanyalah sebuah mesin stirling beta, dimana piston tenaga sudah terpasang di dalam silinder yang terpisah di samping silinder piston displacer, tapi masih terhubung ke roda gila sama. Gas dalam dua silinder dapat mengalir bebas karena mereka berada dalam satu tubuh. Mekanis ini cukup sederhana dan sering digunakan di dalam mesin stirling multi-silinder.



Gambar 2.4 Mesin stirling tipe gamma (Reynolds, 1996)

2.5.4 Komponen Mesin Stirling

Mesin stirling terdiri dari beberapa komponen yaitu (Vineeth, 2008):



Gambar 2.5 Komponen Mesin Stirling (Vineeth, 2008)

a. Heat Exchanger

Heat exchanger digunakan untuk membantu dalam pertukaran udara dari satu medium ke medium lainnya. Pada silinder mesin stirling, suhu tinggi harus dipertahankan pada ruang panas, sedangkan suhu rendah harus dipertahankan ruang dingin. Panas dari ujung panas sumber ditransfer ke silinder, sementara panas dari silinder ditransfer ke ujung dingin. Mesin stirling yang langsung dipanaskan tidak memiliki pertukaran panas yang signifikan. Mesin berpendingin stirling udara biasanya memiliki penukar panas sederhana sementara mesin stirling berpendingin air memiliki heat exchanger lebih kompleks.

b. Piston

Piston adalah bagian penggerak yang merubah tekanan menjadi gerak dari satu ujung ekstrim silinder ke ujung ekstrim yang lain, biasanya disebut sebagai *dead center*. Gerakan piston bervariasi sesuai volume dalam silinder, karena fluida kerja tidak keluar melalui celah antara piston dan dinding silinder. Piston

dari mesin stirling identik dengan piston dalam mesin mobil. Tekanan gas yang bekerja pada piston diturunkan sebagai output kerja mesin.

c. *Displacer*

Displacer adalah bagian penggerak yang menyerupai piston, namun celah antara *displacer* dan silinder jauh lebih besar. Hal ini memungkinkan fluida kerja untuk lolos dengan mudah melalui celah piston. *Displacer* berfungsi sebagai pemindah udara. Pergerakan *displacer* tidak menyebabkan gas terkompresi atau terekspansi, maka pergerakan *displacer* tidak menyebabkan volume silinder berubah. Tekanan gas yang bekerja pada *displacer* dapat diabaikan, dibandingkan dengan piston, karena gas lolos melalui celah piston ke daerah tekanan rendah.

d. *Flywheel*

Roda gila (*Flywheel*) merupakan sebuah massa yang berputar, dan dipergunakan sebagai penyimpan tenaga dalam mesin. Energi yang disimpan di dalam roda gila berupa tenaga kinetik yang besarnya (Vineeth, 2008):

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.6)$$

$$I = \frac{1}{8} m r^2 \quad (2.7)$$

dimana:

I = Momen inersia

ω = Kecepatan putar (rad/s)

m = Massa partikel

r = Jarak tegak lurus dari sumbu roda gila

Roda gila (*Flywheel*) adalah perangkat mekanik yang berputar untuk menyimpan energi rotasi. *Flywheel* mempunyai momen inersia yang signifikan,

untuk menahan perubahan kecepatan rotasi. Jumlah energi yang tersimpan dalam *Flywheel* sebanding dengan kuadrat kecepatan rotasi. Energi ditransfer ke *Flywheel* dengan menggunakan torsi, sehingga dapat meningkatkan kecepatan rotasi dan karenanya energi dapat tersimpan. Sebaliknya, *Flywheel* melepaskan energi yang tersimpan dengan melakukan torsi ke beban mekanik, sehingga mengurangi kecepatan torsi.

2.5.5 Kelebihan Mesin Stirling

1. Frekuensinya stabil dan konstan
2. Mesin stirling dapat bekerja dengan berbagai sumber energi panas, termasuk bahan kimia, sinar surya, limbah pertanian (sekam, tempurung kelapa), kayu bakar, minyak bakar (biomassa, biofuel dan lain-lain), panas bumi dan nuklir.
3. Implementasi mesin stirling banyak sekali
4. Potensi untuk menggunakan sumber panas terbarukan pada mesin stirling lebih mudah, suara mesin lebih lembut (tenang), tidak berisik/bising dan biaya perawatannya lebih rendah.
5. Biaya kapital per unit daya dapat ditekan lebih rendah dibandingkan dengan mesin pembakaran internal untuk daya yang sama, dan biaya perawatannya jauh lebih mudah dan ekonomis.

2.5.6 Aplikasi Mesin Stirling

1. Mesin pemompa air.
2. Mesin pembangkit listrik (generator)

3. Mesin pemecah padi, gandum dan lain-lain, dengan menggunakan sekam sebagai bahan bakarnya.
4. Mesin untuk pendingin (*freezer portable*).
5. Mesin-mesin dengan tenaga surya (matahari) sebagai pembangkit dayanya.

2.6 Reflektor

Reflektor adalah permukaan yang dapat memantulkan atau mencerminkan gelombang cahaya atau lainnya. Sebuah reflektor yang memantulkan cahaya terdiri dari beberapa benda mirip cermin yang ditata menurut beberapa sudut tertentu. Ada reflektor yang bulat, segiempat dan segitiga (Syafriyudin, 2014). Pada penelitian ini, reflektor di desain berupa cermin cekung berbentuk parabola yang bersifat mengumpulkan dan memantulkan pada titik fokus. Sehingga didapatkan intensitas yang maksimum. Bahan yang biasa digunakan sebagai reflektor adalah aluminium, baja stainless, engsel pintu, hardisk bekas, plastik dan kaca. Pada penelitian ini menggunakan bahan aluminium dikarenakan mempunyai nilai reflektansi yang maksimum (Ridlo, 2010).

Radiasi sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi pada mesin stirling dengan memanfaatkan cahaya matahari yang difokuskan menggunakan pemfokus cahaya matahari yang berbentuk seperti parabola yang diberi pemantul. Cermin tersebut dimanfaatkan untuk mengumpulkan cahaya matahari pada suatu titik fokus mesin stirling. Cahaya matahari yang dikumpulkan akan menghasilkan panas, panas tersebut yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan piston yang telah dikopel dengan poros roda gila (Syafriyudin, 2014).

Penelitian Syafriyudin tahun 2014, dilakukan perancangan reflektor secara fungsional dan struktural. Perancangan fungsional untuk menentukan fungsi komponen dari reflektor, sedangkan perancangan struktural untuk menentukan cara *setting disc* parabola serta bentuk dan tata letak desain bahan pemantul pada reflektor parabola. Pada dasarnya bagian reflektor terdiri dari dua jenis yang memiliki fungsi berbeda yaitu parabola sebagai reflektor atau sebagai tempat refleksi radiasi cahaya matahari dan aluminium foil sebagai alat refleksi radiasi cahaya matahari.

Penelitian ini menggunakan alat refleksi radiasi cahaya matahari dari *schotlett chrome* yang sifatnya menyerupai aluminium foil. *Schotlett chrome* terbuat dari paduan nikel dan aluminium, sejenis logam yang setelah melalui beberapa proses, disusun menjadi lembaran tipis dengan ketebalan kurang dari 0,2 mm. *Schotlett chrome* bersifat sangat lembut, bersih, berwarna putih agak keperakan (*silvery white*), lentur, fleksibel, mudah dibentuk, kedap udara, air dan lemak, serta merupakan penghantar panas yang baik untuk energi listrik dan penghangat ruangan (Hartomo, 1992).



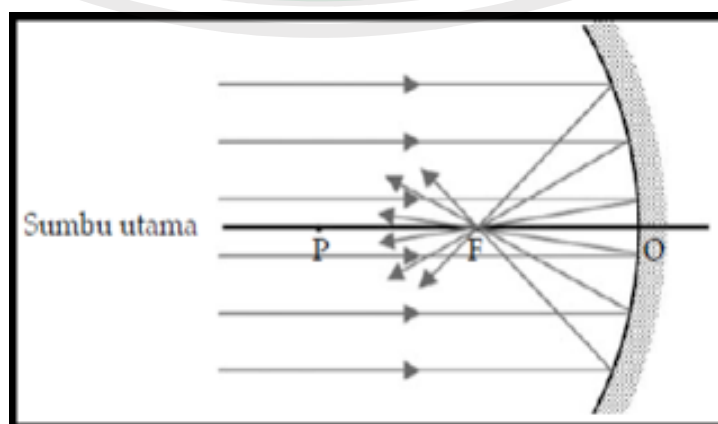
Gambar 2.6 Rancang desain reflektor parabola (Syafriyudin, 2014)

2.7 Hukum Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung

Sinar cahaya yang mengenai cemin akan dipantulkan sesuai dengan hukum pemantulan cahaya. Ada tiga macam cermin yaitu cermin datar, cermin cekung dan cermin cembung. Cermin cekung ialah cermin yang berbentuk lengkung seperti bagian tengah bola yang dibelah menjadi dua bagian. Cermin cekung bersifat mengumpulkan cahaya (konvergen), artinya jika berkas cahaya sejajar melalui suatu permukaan cermin cekung, berkas cahaya tersebut akan dipantulkan melalui satu titik yang sama. Cermin cekung juga disebut cermin positif (Supramono, 2005).

Dalam kehidupan sehari-hari, cermin cekung dimanfaatkan untuk pemantul pada sorot lampu royektor, pemantul pada lampu senter maupun lampu mobil, antena parabola untuk menerima sinyal radio maupun sinyal televisi, sebagai pengumpul energi atau sinar matahari yang digunakan untuk keperluan tertentu, seperti energi listrik tenaga surya.

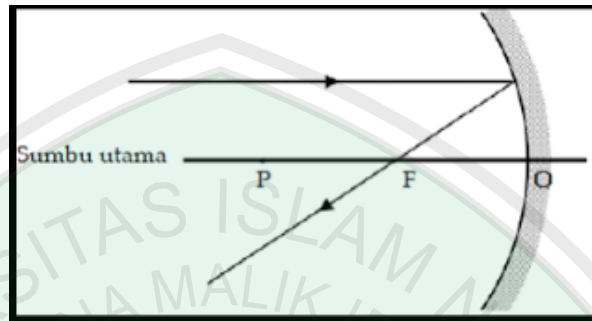
Jika terdapat berkas-berkas cahaya sejajar mengenai permukaan cermin cekung, maka berkas-berkas cahaya pantulnya akan melintasi satu titik yang sama, seperti gambar dibawah ini (Supramono, 2005):



Gambar 2.7 Pemantulan Cermin Cekung

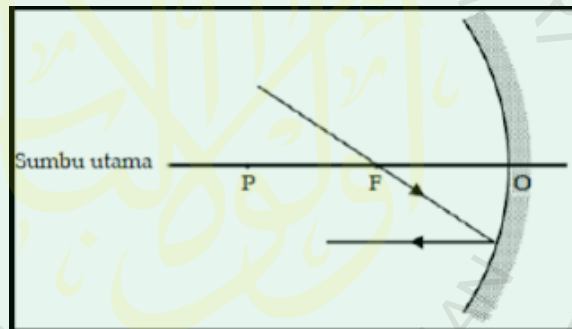
Pada cermin cekung terdapat tiga sinar istimewa, yaitu sebagai berikut (Supramono, 2005) :

1. Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus.



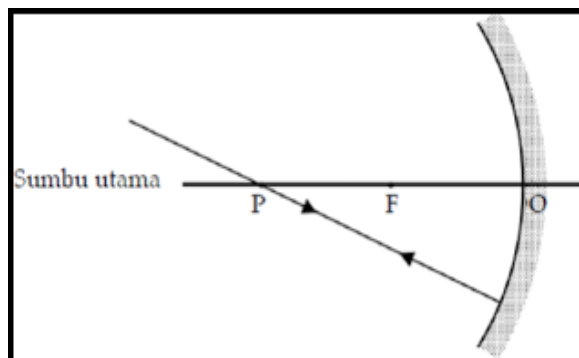
Gambar 2.8 Sinar istimewa cermin cekung 1

2. Sinar datang melalui titik fokus, akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



Gambar 2.9 Sinar istimewa cermin cekung 2

3. Sinar datang melalui pusat kelengkungan akan dipantulkan kembali melalui titik pusat kelengkungan cermin.



Gambar 2.10 Sinar istimewa cermin cekung 1

Pedoman pembentukan bayangan dan sifat bayangan pada cermin cekung (Supramono, 2005):

1. Jika benda berada di ruang 1, maka bayangan berada di ruang IV dan bersifat maya, tegak, diperbesar.
2. Jika benda berada di ruang II, maka bayangan berada di ruang III dan bersifat nyata, terbalik, diperbesar.
3. Jika benda berada di ruang III, maka bayangan berada di ruang I dan bersifat nyata, terbalik, diperkecil.
4. Jika benda berada di kelengkungan cermin, maka bayangan juga berada di pusat kelengkungan cermin dan bersifat nyata, terbalik, sama besar.

Cermin cekung berfokus positif. Jika ada benda dengan jarak S dari cermin maka untuk mencari jarak bayangannya menggunakan rumus:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (2.8)$$

dimana:

f = Fokus cermin

s = Jarak benda dari cermin

s' = Jarak bayangan

Sedangkan perbesaran bayangannya menggunakan rumus:

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{h'}{h} \quad (2.9)$$

dimana:

M = Perbesaran bayangan

h' = Tinggi bayangan

h = Tinggi benda

2.8 Parameter Unjuk Kerja

2.8.1 Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar r , dengan data tersebut torsiya adalah (Nugroho, 2012):

$$\tau = F \times r \quad (2.10)$$

dimana:

τ = Torsi benda berputar (N.m)

F = Gaya sentrifugal benda putar (N)

r = Jari-jari benda ke poros (m)

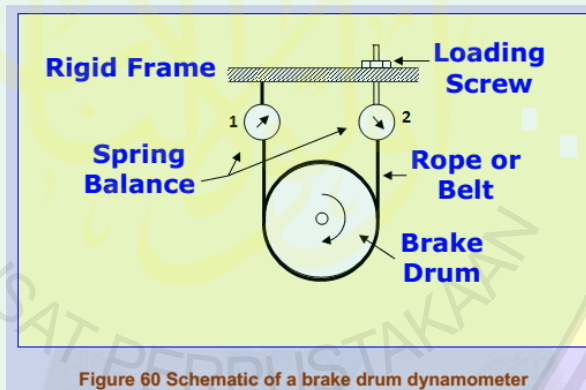
Torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan. Pada motor bakar untuk mengetahui daya poros harus diketahui dulu torsiya. Pengukuran torsi pada poros motor bakar menggunakan alat yang dinamakan Dinamometer.

Pengukuran torsi pada mesin skala kecil dapat juga menggunakan cara pengereman (*rope brake*). Alat dan bahan yang digunakan antara lain:

1. Neraca pegas (*spring balance*), yang berfungsi untuk mengukur besarnya gaya gesek tali yang digesekkan pada permukaan roda gila (*flywheel*), atau

bisa juga pada *pulley*. *Spring balance* juga berfungsi sebagai pengganti beban.

2. Rem tali (*rope brake*) yang berfungsi sebagai rem, bahan ini biasanya terbuat dari kulit atau sejenisnya.
3. *Brake drum* yang berupa roda gila (*flywheel*) dan bisa juga berupa *pulley*.
4. *Rigid frame* merupakan tempat untuk menaruh dan mengikat kedua buah neraca pegas agar tetap sejajar.
5. *Loading screw* yang berfungsi mengatur ketinggian salah satu neraca pegas dan juga mengatur merenggang dan mengencangkan tali, bila neraca pegas tertarik ke atas, maka benang juga akan menjadi mengencang.



Gambar 2.11 Pengukuran dengan *Rope Brake*

Prinsip kerja dari alat di atas yaitu saat mesin berputar pada kecepatan (rpm) tertentu dan kondisi rem tali sedikit menempel pada roda dan masih dalam keadaan renggang, kemudian rpm dicatat dan diputar *loading screw* secara perlahan dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putar sampai putaran mendekati 0 rpm, beban ini nilainya adalah sama dengan gaya poros yang ditunjukkan oleh neraca pegas 2 dan 1. Lihat kondisi rem tali akan semakin

mengencang saat *loading screw* diputar. Rem tali yang semakin mengencang akan menggesek bagian sisi roda, semakin menggesek rem tali tersebut pada bagian sisi roda, maka putaran roda tersebut akan menjadi lebih pelan dan juga akan hampir berhenti. Besarnya gaya gesek rem tali dapat diukur dan dilihat pada neraca pegas 1 dan 2.

Untuk mengetahui dan mengukur berapa daya (power) dan torsi yang dikeluarkan oleh mesin, maka dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sebagai gaya perlawanan atau gaya untuk melawan gaya yang ditimbulkan oleh gaya mesin yang ingin diukur power dan torsi. Fungsi pemberian gaya gesek rem tali untuk memberikan gaya perlawanan terhadap gaya yang dikeluarkan oleh mesin. Mesin akan menyerap gaya gesek rem tali. “Besarnya gaya gesek rem tali yang diberikan akan sebanding dengan gaya yang dikeluarkan oleh mesin saat kecepatan putar (rpm) mesin hampir berhenti akibat gaya gesek rem tali”.

2.8.2 RPM (*Rotation Per Minute*)

RPM (*Rotation Per Minute*) yang dilambangkan ω adalah kemampuan kecepatan putaran dari motor. Kecepatan sudut yang sering digunakan untuk menggambarkan rotasi suatu objek dalam lintasan melingkar. Biasanya didefinisikan sebagai laju perubahan, dalam kaitannya dengan waktu, dari perpindahan sudut, atau perubahan posisi dari sebuah partikel atau benda lain. Biasanya ditentukan oleh garis tegak lurus terhadap kurva lingkaran, kecepatan sudut juga tegak lurus terhadap arah di mana ada sesuatu yang berputar. Alat untuk mengukur rpm adalah Tachometer.

Kecepatan suatu benda umumnya ditentukan oleh kecepatan sudutnya. Oleh karena itu, kecepatan sudut biasanya diukur sebagai perjalanan sepanjang lingkaran dalam periode waktu tertentu. Derajat, putaran, atau satuan lingkaran disebut radian perjalanan setiap detik yang disebut juga dengan kecepatan anguler (rad/s), sedangkan Rpm digunakan sebagai satuan ukur banyaknya putaran mesin dalam satu menit (Nugroho, 2012).

2.8.3 Daya

a. Daya Matahari

Intensitas tenaga surya (I) dengan jumlah tenaga panas (P) yang diterima oleh suatu permukaan seluas (A) yang tegak lurus terhadap sinar surya adalah (Amalia dan Satwiko, 2009):

$$P = I \times A \quad (2.11)$$

dimana:

P = Daya matahari

I = Intensitas radiasi matahari

A = Luas permukaan

b. Daya Mesin

Daya yang dihitung dengan satuan kW (kilowatt) atau *Horse Power* (HP) mempunyai hubungan erat dengan torsi. Daya dirumuskan sebagai berikut (Nugroho, 2012):

$$P = \tau \times \omega \quad (2.12)$$

dimana:

P = Daya (Watt)

T = Torsi dalam newton meter (Nm)

ω = Kecepatan sudut dalam Rotasi Per Minutes (RPM)

Rumus di atas adalah rumus dasarnya, pada mesin maka rumus daya (Watt) menjadi:

$$P = \tau \times \omega \times 2\pi / 60 \quad (2.13)$$

Pada motor bakar, daya dihasilkan dari proses pembakaran di dalam silinder dan biasanya disebut dengan daya indikator. Daya tersebut dikenakan pada torak yang bekerja bolak balik di dalam silinder mesin. Jadi di dalam silinder mesin, terjadi perubahan energi dari energi kimia bahan bakar dengan proses pembakaran menjadi energi mekanik pada torak.

2.8.4 Efisiensi

Efisiensi keluaran maksimum (η) didefinisikan sebagai prosentase keluaran daya optimum terhadap energi yang digunakan, yang dituliskan sebagai (Muchammad dan Hendri, 2011):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.14)$$

dengan:

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya yang dihasilkan (watt)

P_{in} = Daya yang diterima (watt)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental bertujuan untuk mendeskripsikan karakterisasi dan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sumber panas reflektor parabolik dan sistem aliran air pada reservoir rendah.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2016. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

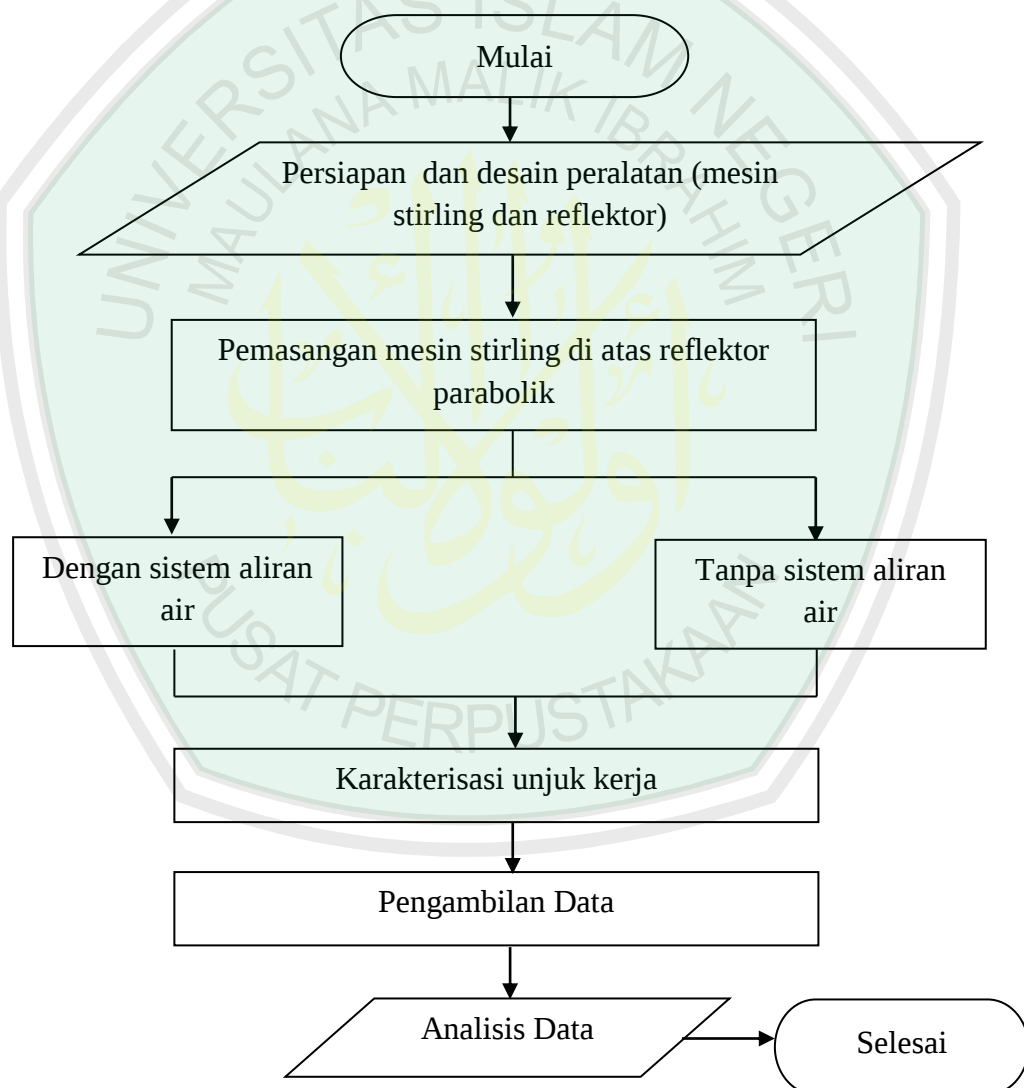
3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan mesin stirling tipe gamma antara lain: tabung silinder *stainless steel*, spon (*displacer*), kertas TBA, plat besi, *bose* silinder alumunium, kuningan silinder power, alumunium piston power, besi *connecting road* piston power, *stainless connecting road displacer*, *bose connecting road displacer*, *pin road*, plat besi penyangga kruk as, teflon kruk as, *compact disk* (roda gila), besi penyangga mesin stirling, pipa alumunium, selang karet, cat hitam, lem G, benang dan beberapa alat pendukung lainnya.

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan reflektor parabolik antara lain: parabola *Dish Solid Venus Alloy 6 Feet*, *shotlett chrome*, *hairdryer*, dan besi penyangga parabola

Alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data antara lain: neraca pegas *Phywe* 03065-02 1 N dan 03065-03 2 N, tachometer, luxmeter *Lutron LX-107* 2 buah, multimeter digital *Peak Tech 2010 DMM* 2 buah, stopwatch *XL-009B*, dan termokopel 2 buah

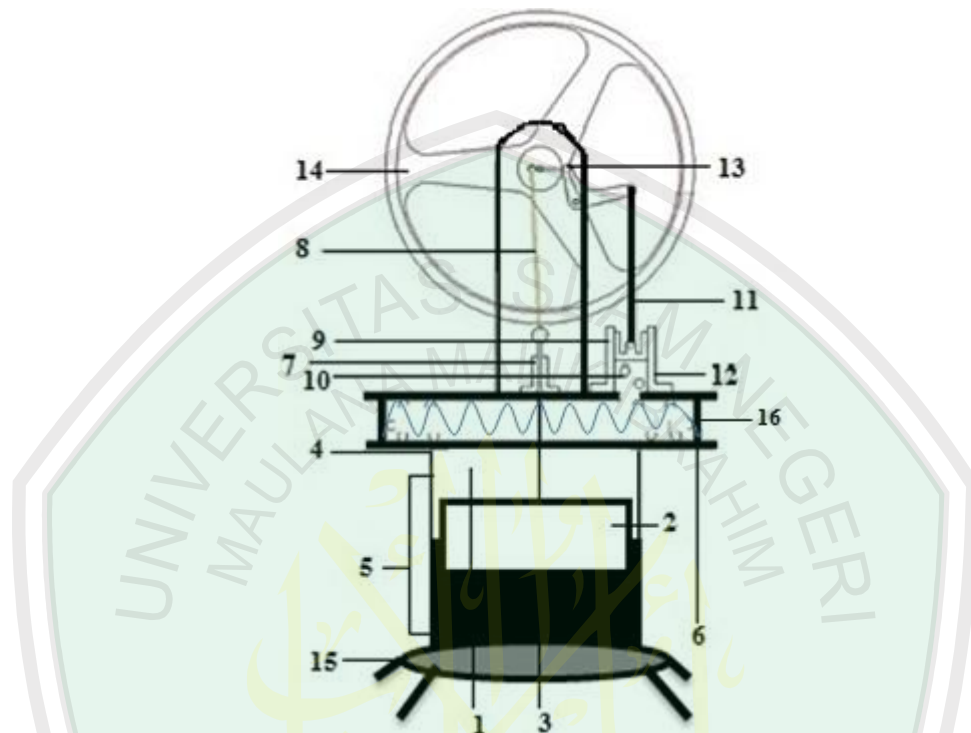
3.4 Alur Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Alur rancangan penelitian

3.5 Desain Rangkaian Alat

3.5.1 Mesin Stirling Tipe Gamma



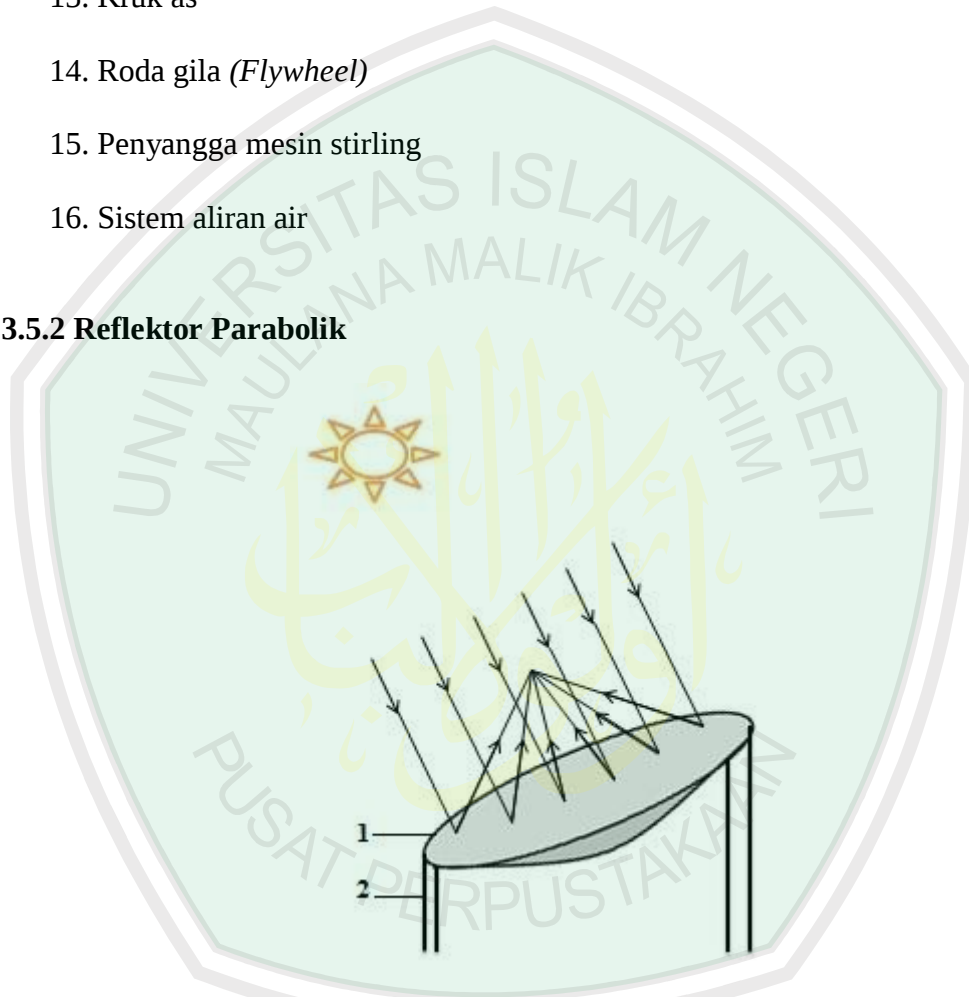
Gambar 3.2 Desain rangkaian mesin stirling tipe gamma

Keterangan:

1. Tabung silinder *displacer*
2. *Displacer*
3. Ruang panas (*Hot Chamber*)
4. Ruang dingin (*Cold Chamber*)
5. *Heat Exchanger*
6. Tutup *displacer*
7. *Bose road displacer*
8. *Connecting road displacer*
9. Silinder power

10. Piston power
11. *Connecting road* piston power
12. *Bose* silinder
13. Kruk as
14. Roda gila (*Flywheel*)
15. Penyangga mesin stirling
16. Sistem aliran air

3.5.2 Reflektor Parabolik

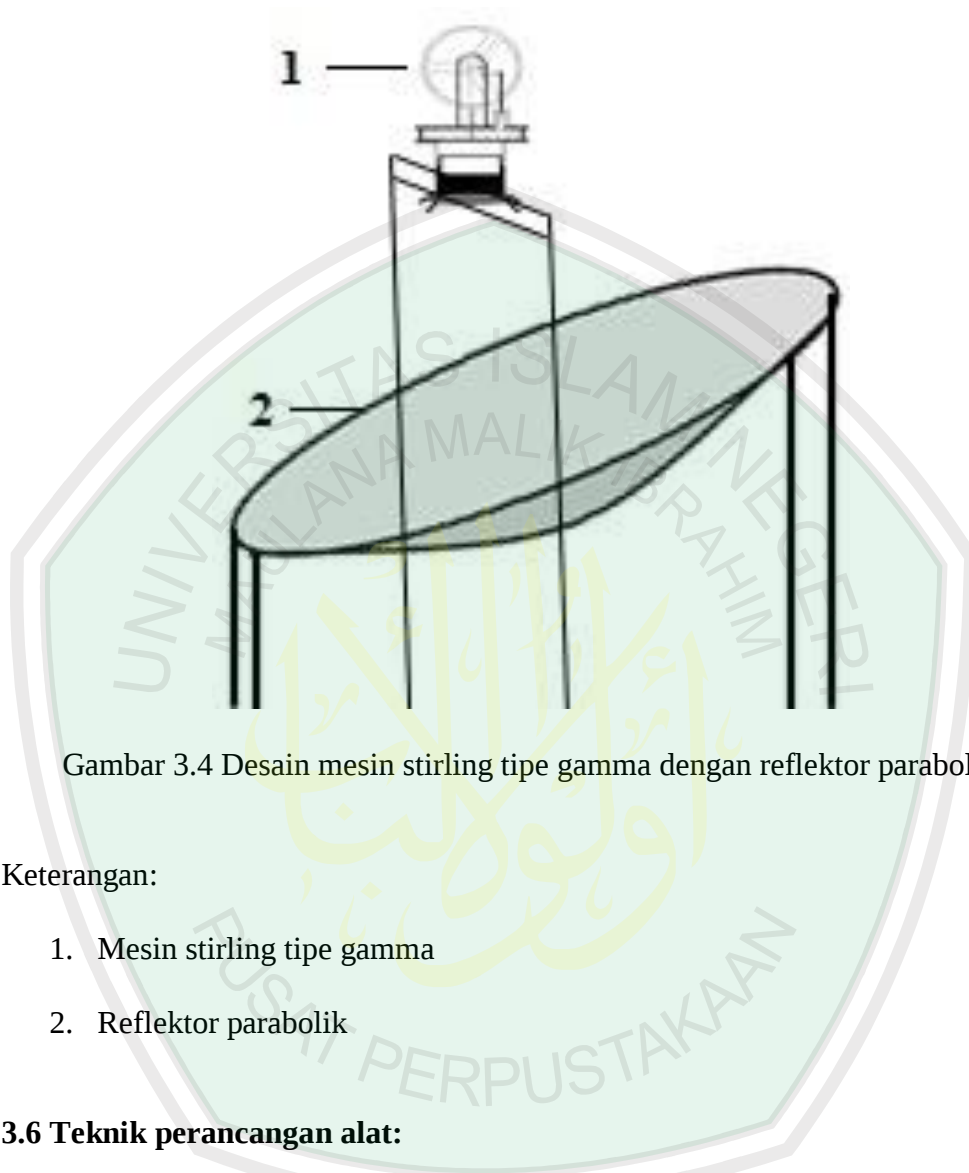


Gambar 3.3 Desain rangkaian Reflektor parabolik

Keterangan:

1. Parabola *Dish Solid Venus Alloy 6 Feet*
2. Penyangga Parabola

3.5.3 Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Reflektor Parabolik



Gambar 3.4 Desain mesin stirling tipe gamma dengan reflektor parabolik

Keterangan:

1. Mesin stirling tipe gamma
2. Reflektor parabolik

3.6 Teknik perancangan alat:

Teknik perancangan mesin stirling tipe gamma dengan reflektor parabolik, yaitu:

1. Dibuat tabung silinder *displacer* dari bahan *stainless steel* dengan diameter 10,5 cm, tinggi 9 cm sebagai tempat *displacer*.

2. Diletakkan *displacer* dari bahan spon dan kertas TBA dengan tinggi 4 cm, diameter 9,5 cm, *displacer* didesain lebih kecil dari tabung silinder, karena berfungsi untuk antar jemput udara panas dan dingin.
3. Dibuat isolasi termal antara ruang panas dan dingin sebagai pemisah kedua ujung silinder, dimana pada ruang panas di cat hitam agar dengan cepat menyerap panas
4. Ditutup silinder *displacer* dengan penutup dari bahan plat besi dengan diameter 22 cm dan tebal 3 mm sebagai bagian ruang dingin.
5. Dibuat *bose road displacer* dari bahan baut besi dengan tinggi 2,5 cm yang berfungsi sebagai alur *connecting road* dengan tabung *displacer*.
6. Dibuat *connecting road displacer* dari bahan as stainless dengan panjang 21 cm, sebagai penghubung poros dan *displacer*.
7. Dibuat silinder power dari bahan kuningan yang tahan panas dan licin, dengan diameter 2,5 cm dan tinggi 6 cm, sebagai tempat piston power.
8. Dibuat piston power dari bahan alumunium dengan tinggi 3 cm dan diameter 2,2 cm.
9. Dibuat *connecting road* piston power dari bahan besi dengan tinggi 8 cm, sebagai penghubung antara poros dan piston power.
10. Dibuat borse silinder dari bahan alumunium dengan diameter 6,5 cm dan tebal 2,5 cm, yang berfungsi untuk menempelkan silinder power dengan plat penutup.
11. Dibuat kruk as dari bahan teflon dengan panjang 4 cm dan diameter 3,5 cm sebagai poros.

12. Dibuat roda gila (*Flywheel*) dari bahan *compact disk* dengan diameter 12 cm dan tebal 0,4 cm.
13. Dibuat penyangga mesin stirling dari bahan besi.
14. Dibuat sistem aliran air dengan menggunakan air es yang dialirkan dengan 5 buah pipa aluminium dengan panjang 22 cm, 22 cm, 15 cm, 10 cm, 10 cm dan selang karet dengan panjang 1 m.
15. Didesain reflektor parabolik dari parabola *Dish Solid Venus Alloy 6 Feet* berbahan aluminium yang dilapisi skotlet dengan diameter 180 cm, sebagai pemfokus cahaya matahari pada mesin stirling.
16. Dibuat 4 buah penyangga Parabola dari bahan besi dengan tinggi 25 cm, 25 cm, 60 cm, 60 cm.
17. Diletakkan mesin stirling tipe gamma di atas reflektor parabolik.

3.7 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di luar ruangan, dengan mengamati perubahan intensitas cahaya matahari yang ditunjukkan oleh luxmeter, mengamati perubahan temperatur pada ruang panas dan ruang dingin yang ditunjukkan oleh termokopel, mengamati gaya pegas yang ditunjukkan oleh neraca pegas sebagai acuan untuk mengetahui nilai torsi, serta mengamati kecepatan putar roda gila yang ditunjukkan oleh tachometer. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Memasang semua alat ukur, seperti termokopel diletakkan pada bagian ruang dingin dan ruang panas. Luxmeter diletakkan 1 m di atas mesin stirling tipe gamma untuk mengukur intensitas awal, dan di atas direflektor parabolik untuk

mengukur intensitas akhir, tachometer diletakkan didepan roda gila untuk mengukur rpm yang dihasilkan, neraca pegas yang dihubungkan pada poros dengan lengan 10 cm untuk mengukur gaya pegas agar diketahui nilai torsinnya, dan dialirkan air dengan menghitung debit menggunakan stopwatch.

2. Pengambilan data intensitas awal, intensitas akhir, suhu ruang panas, suhu ruang dingin, rpm, gaya pegas dan debit air dilakukan secara bersamaan. Pembacaan intensitas radiasi matahari dilakukan setelah nilai intensitas stabil untuk selang waktu ± 1 menit.
3. Melakukan pencatatan beberapa parameter, yaitu: Intensitas awal, intensitas akhir, suhu panas, suhu dingin, rpm, gaya pegas, dan debit air.
4. pengambilan data ini dilakukan selama 2 hari dengan variasi menggunakan sistem aliran air dan tanpa sistem aliran air.

3.8 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data untuk mengkarakterisasi unjuk kerja reflektor parabolik, dan mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah dilakukan dengan membuat tabel data hasil penelitian yang meliputi nilai suhu panas ($^{\circ}\text{C}$), suhu dingin ($^{\circ}\text{C}$), intensitas awal (W/m^2), intensitas akhir (W/m^2), rpm, gaya pegas (N), torsi (Nm), daya input (Watt), daya output (Watt), debit (m^3/s) dan efisiensi (%).

Tabel 3.1 Data hasil penelitian dengan menggunakan sistem aliran air

NO	T (°C)		I (W/M ²)	F (N)	RPM	τ (N.M)	P (WATT)	η (%)
	PANAS	DINGIN						
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								
12.								
13.								
14.								
15.								
16.								
17.								
18.								
19.								
20.								
$\bar{X}$								

Tabel 3.2 Data hasil penelitian tanpa menggunakan sistem aliran air

NO	T (°C)		I (W/M ²)	F (N)	RPM	τ (N.M)	P (WATT)	η (%)
	PANAS	DINGIN						
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								
12.								
13.								
14.								
15.								
16.								
17.								
18.								
19.								
20.								
$\bar{X}$								

3.9 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk grafik dan dianalisis dengan teknik deskriptif tentang karakterisasi unjuk kerja reflektor parabolik dengan melihat pembesaran intensitas setelah dipantulkan, dan mendeskripsikan

unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan membandingkan nilai selisih suhu ruang panas dan ruang dingin, rpm, torsi, daya dan efisiensi dengan menggunakan sistem aliran air dan tanpa menggunakan sistem aliran air.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Alat

Peneletian tentang “Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah” dilakukan beberapa tahap perancangan, yaitu pertama perancangan reflektor parabolik. Untuk tahap ini dibutuhkan parabola yang memiliki diameter 180 cm dari bahan alumunium yang mampu menyerap panas dan dilapisi skotlet agar permukaannya rata dan mampu memantulkan intensitas matahari pada titik fokus, kemudian dibuat penyangga agar lebih mudah meletakkan dan dapat mengatur posisi yang tepat.



Gambar 4.1 Reflektor Parabolik

Tahap kedua, yaitu perancangan mesin stirling tipe gamma. Mesin stirling tipe gamma merupakan sebuah mesin stirling yang mempunyai dua silinder, yaitu silinder piston power, dan silinder displacer yang dipasang terpisah, namun terhubung dalam satu poros roda yang sama. Kelebihan dari mesin stirling tipe gamma ini perancangannya mudah dan sederhana, gas yang bekerja dalam ruang

panas dan dingin dapat mengalir bebas, karena berada dalam satu silinder, serta tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan piston lebih sedikit, karena proses ekspansi dan kompresinya cepat. Mesin stirling mempunyai 4 bagian pokok yaitu:

1. *Heat exchanger* dari bahan *stainless steel* sebagai tempat pertukaran gas, yang terdiri dari ruang panas (*hot chamber*) dengan dilapisi cat hitam agar lebih maksimal dalam menyerap panas, karena benda hitam merupakan media penyerap panas yang sempurna. Ruang dingin (*cold chamber*) yang ditutup dengan penutup dari bahan plat besi.
2. *Displacer* yang terbuat dari bahan isolator berupa spon agar tidak terjadi kehilangan panas dan ditutup dengan kertas TBA agar dapat memantulkan piston, *displacer* didesain lebih kecil dari tabung silinder karna berfungsi untuk antar jemput udara panas dan dingin.
3. Piston power dari bahan alumunium yang diletakkan di dalam silinder power dari bahan kuningan yang tahan panas dan licin.
4. Roda gila (*Flywheel*) dari bahan *compact disk* dengan berat tidak terlalu ringan dan tidak terlalu berat, agar putarannya seimbang.



Gambar 4.2 Mesin Stirling Tipe Gamma

Tahap perancangan yang terakhir yaitu membuat sistem aliran air pada ruang dingin dengan menggunakan air es yang dialirkan menggunakan 5 buah pipa aluminium dan selang karet. Sistem tersebut diharapkan temperatur pada ruang dingin akan semakin dingin, sehingga nilai selisih suhu ruang panas dan ruang dingin semakin tinggi.



Gambar 4.3 Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sistem Aliran Air

4.1.1 Prinsip Kerja Alat

Mesin stirling memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Mesin stirling akan bekerja jika terdapat perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur tersebut mengakibatkan adanya perbedaan tekanan dan volume pada gas dalam sistem tertutup. Gas pada sistem dikontakkan pada reservoir panas sehingga sistem menyerap panas. Akibat adanya panas ini menyebabkan volume gas bertambah, karena sistem dalam keadaan tertutup, maka tidak ada gas yang keluar sehingga pertambahan volume gas karena pemanasan menimbulkan perubahan tekanan yang cukup besar. Tekanan yang dihasilkan ini kemudian digunakan untuk menggerakkan piston. Sementara itu displacer menyusup ke ruangan yang dingin, dengan melepas panas pada saat bersamaan. Karena penurunan suhu ini volume gas berkurang dan

sistem menerima kerja kompresi yang menyebabkan volume gas kembali ke keadaan awal. Keadaan tersebut terjadi berulang secara periodik sehingga terjadi gerakan piston yang terhubung dengan roda gila agar dapat dimanfaatkan sebagai energi mekanik.

Penambahan sistem aliran air pada reservoir rendah atau ruang dingin, menyebabkan roda gila berputar semakin cepat, hal ini dikarenakan ketika gas dalam ruang panas semakin panas, maka gas akan memuai dan piston bergerak keatas dan ketika piston sampai di ruang dingin dengan temperatur yang sangat dingin maka udara kembali menyusut sehingga piston bergerak kembali pada ruang panas keadaan sebelumnya dengan cepat, sehingga semakin besar selisih suhu pada ruang panas dan dingin (ΔT), maka piston akan bergerak semakin cepat, dan roda gila akan berputar semakin cepat.

4.2 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di luar ruangan selama 2 hari. Hari pertama pengambilan data dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, didapatkan data sebanyak 36 data. Hari kedua pengambilan data tanpa menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, didapatkan data sebanyak 29 data, yang ditunjukkan pada lampiran 1. Data tersebut kemudian dipilih dengan menggunakan metode modus, yaitu mengambil data yang sering muncul, sehingga didapatkan 20 data dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah dan 20 data tanpa menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, yang ditunjukkan pada lampiran 2.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Unjuk Kerja Reflektor Parabolik terhadap Intensitas Matahari

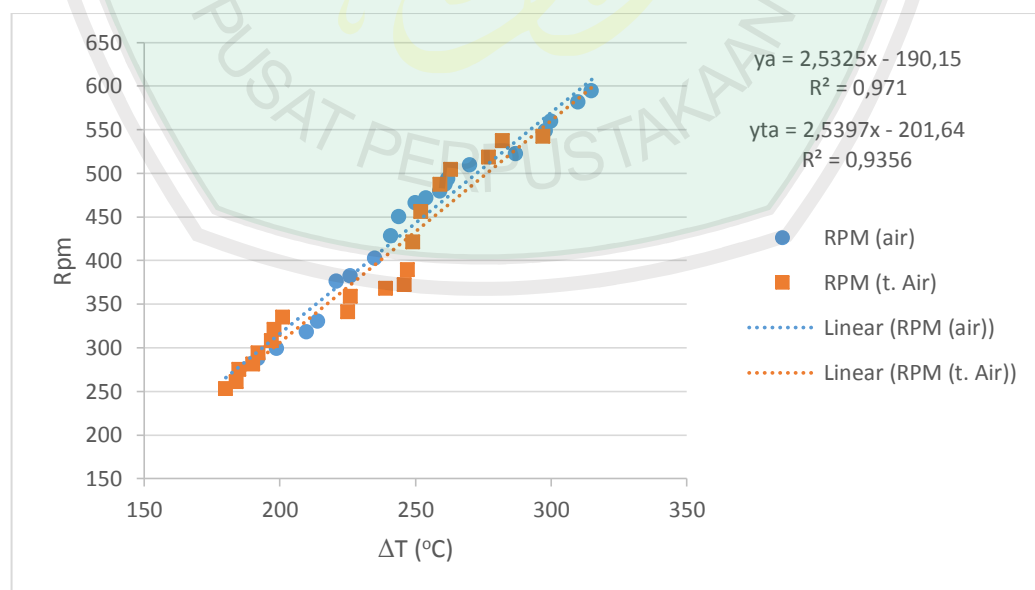
Reflektor parabolik dimanfaatkan untuk mendapatkan perbesaran maksimal dari intensitas sebelum mengenai reflektor sampai setelah difokuskan dan dipantulkan. Lampiran 3 menunjukkan bahwa perbesaran intensitas radiasi minimum sebesar 2,4 kali, perbesaran maksimum 2,7 kali, dan perbesaran rata-rata sebesar 2,5 kali. Reflektor parabolik pada sistem aliran air mampu mencapai intensitas minimum 1298 W/m^2 , intensitas maksimum 1538 W/m^2 , dan intensitas rata-rata sebesar 1401 W/m^2 , sedangkan pada sistem tanpa aliran air mampu mencapai intensitas minimum 1285 W/m^2 , intensitas maksimum 1522 W/m^2 , dan intensitas rata-rata sebesar 1403 W/m^2 .

Hal ini tentunya dipengaruhi oleh karakterisasi unjuk kerja reflektor parabolik, dimana reflektor berbentuk parabola dengan ukuran besar yang bertujuan agar intensitas cahaya matahari yang terkumpul besar, dan bisa dipantulkan pada satu titik fokus, yaitu pada permukaan ruang panas sebagai sumber panas pada mesin stirling tipe gamma. Sinar cahaya yang mengenai cemin akan dipantulkan sesuai dengan hukum pemantulan cahaya. Pada penelitian ini menggunakan cermin cekung sebagai reflektornya. Cermin cekung ialah cermin yang berbentuk lengkung seperti bagian tengah bola yang dibelah menjadi dua bagian. Cermin cekung bersifat mengumpulkan cahaya (konvergen), artinya jika berkas cahaya sejajar melalui suatu permukaan cermin cekung, berkas cahaya tersebut akan dipantulkan melalui satu titik yang sama, yaitu pada titik fokus. Cermin cekung juga disebut cermin positif (Supramono, 2005).

Penelitian ini menggunakan alat refleksi radiasi cahaya matahari berbahan *schottlett chrome* yang sifatnya menyerupai aluminium foil. *Schottlett chrome* terbuat dari paduan nikel dan aluminium, sejenis logam yang setelah melalui beberapa proses, disusun menjadi lembaran tipis dengan ketebalan kurang dari 0,2 mm. *Schottlett chrome* bersifat sangat lembut, bersih, berwarna putih agak keperakan (silvery white), lentur, fleksibel, mudah dibentuk, kedap udara, air dan lemak, serta merupakan penghantar panas yang baik untuk energi listrik dan penghangat ruangan (Hartomo, 1992). *Schottlett chrome* mampu melapisi reflektor parabola secara rata, sehingga pemantulannya bisa fokus pada satu titik fokus, yaitu pada *hot chamber* mesin stirling tipe gamma.

4.3.2 Hubungan Temperatur terhadap Rpm

Hubungan selisih temperatur ruang dingin dan ruang panas (ΔT) terhadap nilai kecepatan putar roda gila (Rpm) dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Suhu dan Rpm

Gambar 4.4 adalah grafik yang menunjukkan hubungan selisih temperatur ruang dingin dan ruang panas (ΔT) terhadap kecepatan putar roda gila (Rpm) berupa grafik garis linear. Persamaan y bernilai positif menunjukkan bahwa ada pengaruh antara selisih temperatur ruang dingin dan ruang panas (ΔT) dengan Rpm, semakin besar nilai ΔT , maka semakin cepat pula putaran roda gila nya (Rpm). Pada grafik dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan Rpm sebesar 2,5325x, dan sebanyak 97% perubahan Rpm dipengaruhi oleh ΔT , sedangkan sisanya 3% dipengaruhi oleh faktor lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum ΔT sebesar 315°C, nilai minimumnya sebesar 197°C, dan nilai rata-ratanya sebesar 253°C, dan juga didapatkan nilai maksimum kecepatan putar roda gila sebesar 594 rpm, nilai minimumnya sebesar 287 rpm, dan nilai rata-ratanya sebesar 449 rpm.

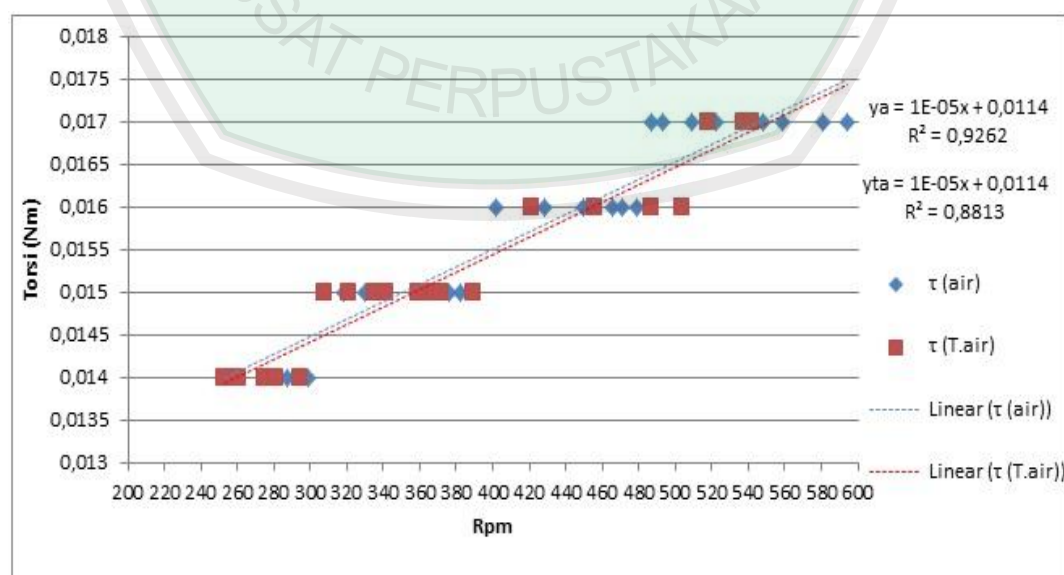
Pada grafik tanpa menggunakan sistem tanpa aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan Rpm sebesar 2,5397x, dan sebanyak 93,5% perubahan Rpm dipengaruhi oleh ΔT , sedangkan sisanya 6,5% dipengaruhi oleh faktor lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum ΔT sebesar 297°C, nilai minimumnya sebesar 175°C, dan nilai rata-ratanya sebesar 229°C, dan juga didapatkan nilai maksimum kecepatan putar roda gila sebesar 542 rpm, nilai minimumnya sebesar 253 rpm, dan nilai rata-ratanya sebesar 381 rpm.

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai ΔT dan nilai kecepatan putar roda gila (Rpm) pada mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem aliran air lebih besar dari pada nilai ΔT dan nilai Rpm pada mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem tanpa aliran air.

Hal ini dikarenakan roda gila pada mesin stirling akan berputar jika terdapat perbedaan suhu, yang mengakibatkan gas melakukan ekspansi dan kompresi, dimana suhu rendah harus dipertahankan pada ruang dingin, dan suhu tinggi harus dipertahankan pada ruang panas, sehingga ketika selisih suhu ruang panas dan ruang dingin semakin besar, maka roda akan berputar semakin cepat. Adanya pendingin pada reservoir rendah juga berfungsi untuk mencegah terjadinya panas yang berlebihan (*overheating*), akibat panas yang dipantulkan oleh reflektor parabolik sangat besar. *Overheating* dapat menyebabkan komponen-komponen mesin menjadi rusak, kekuatan piston akan melemah, hanya bisa melakukan kerja ekspansi, sehingga akan menabrak blok silinder dan piston menjadi macet, serta pembakaran menjadi tidak normal.

4.3.3 Hubungan Rpm terhadap Torsi

Hubungan nilai kecepatan putar roda gila (Rpm) terhadap nilai torsi dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Rpm dan Torsi

Gambar 4.5 adalah grafik yang menunjukkan hubungan kecepatan putar roda gila (Rpm) terhadap gaya putar (Torsi) yang berupa grafik garis linear. Persamaan y bernilai positif menunjukkan bahwa ada pengaruh antara Rpm dan torsi, semakin besar nilai Rpm, maka semakin besar pula nilai torsi. Pada grafik dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan torsi sebesar $10^{-5}x$, dan sebanyak 92,6% perubahan torsi dipengaruhi oleh Rpm, sedangkan sisanya 7,4% dipengaruhi oleh faktor lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum torsi sebesar 0,017 Nm, nilai minimumnya sebesar 0,014 Nm, dan nilai rata-ratanya sebesar 0,016 Nm.

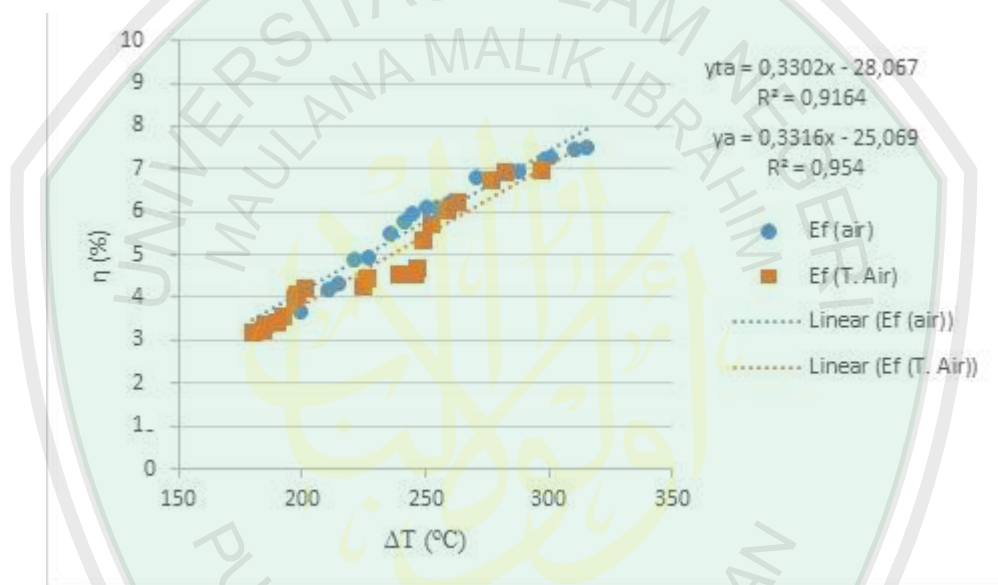
Pada grafik tanpa menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan torsi sebesar $10^{-5}x$, dan sebanyak 88% perubahan torsi dipengaruhi oleh Rpm, sedangkan sisanya 12% dipengaruhi oleh faktor lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum torsi sebesar 0,017 Nm, nilai minimumnya sebesar 0,014 Nm, dan nilai rata-ratanya sebesar 0,015 Nm.

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai torsi pada mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem aliran air lebih besar dari pada nilai torsi pada mesin stirling tipe gamma tanpa menggunakan sistem aliran air. Hal ini dikarenakan ketika roda gila pada mesin stirling berputar sangat cepat maka roda tersebut mempunyai gaya yang sangat besar pula. Gaya yang bekerja pada roda gila besarnya sama dengan gaya lawan yang diberikan untuk menghentikan kecepatan putar roda gila. Jadi semakin cepat putaran roda gila nya, maka gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan putaran tersebut juga semakin besar. Sehingga semakin besar kecepatan putar roda gila, maka nilai torsi nya juga

semakin besar. Menurut Nugroho, 2012 bahwa besarnya gaya gesek rem tali yang diberikan akan sebanding dengan gaya yang dikeluarkan oleh mesin saat kecepatan putar (rpm) mesin hampir berhenti akibat gaya gesek rem tali.

4.3.4 Hubungan Temperatur terhadap Efisiensi

Hubungan nilai selisih temperatur ruang panas dan ruang dingin (ΔT) terhadap nilai efisiensi dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Temperatur dan Efisiensi

Gambar 4.6 adalah grafik yang menunjukkan hubungan nilai selisih temperatur ruang panas dan ruang dingin (ΔT) dan nilai efisiensi yang berupa grafik garis linear. Persamaan y bernilai positif menunjukkan bahwa ada pengaruh antara ΔT dan efisiensi, semakin besar nilai ΔT , maka semakin besar pula nilai efisiensi. Pada grafik dengan menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan efisiensi sebesar 0,3316x dan sebanyak 95,4% perubahan efisiensi dipengaruhi oleh ΔT , sedangkan sisanya 4,6% dipengaruhi oleh faktor

lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum efisiensi sebesar 8,6%, nilai minimumnya sebesar 3,7%, dan nilai rata-ratanya sebesar 7,1%.

Pada grafik tanpa menggunakan sistem aliran air pada reservoir rendah, laju peningkatan efisiensi sebesar 0,3302x dan sebanyak 91,6% perubahan efisiensi dipengaruhi oleh ΔT , sedangkan sisanya 8,4% dipengaruhi oleh faktor lain. Data hasil penelitian didapatkan nilai maksimum efisiensi sebesar 7,3%, nilai minimumnya sebesar 3,3%, dan nilai rata-ratanya sebesar 5,0%.

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai efisiensi unjuk kerja pada mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem aliran air lebih besar dari pada nilai efisiensi unjuk kerja pada mesin stirling tipe gamma dengan menggunakan sistem tanpa aliran air. Sesuai dengan persamaan 2.14 bahwa besar nilai efisiensi dipengaruhi oleh besar nilai daya input dan daya output, dimana daya input bergantung dari besar intensitas radiasi matahari yang dipantulkan oleh reflektor parabolik sebagai sumber panas pada mesin stirling tipe gamma, sedangkan daya output bergantung pada kecepatan putar roda gila serta gaya porosnya, sedangkan variabel tersebut dipengaruhi oleh besar nilai selisih suhu ruang panas dan ruang dingin (ΔT). Sehingga semakin besar nilai selisih suhu ruang panas dan ruang dingin (ΔT), maka efisiensinya juga semakin besar.

4.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja Alat

Banyak faktor yang mempengaruhi kinerja mesin stirling antara lain: suhu lingkungan, cuaca, kelembapan udara, laju angin dan letak geografis. Faktor tersebut merupakan faktor relatif yang tidak dapat dikendalikan, namun sangat mempengaruhi karena jika cuaca tidak stabil (panas kemudian langsung

mendung) maka panas yang akan diterima oleh hot chamber mesin stirling juga akan kurang stabil sehingga flywheel akan berhenti jika tidak menerima panas secara konstan.

Kemudian absorpsivitas termal yang sangat mempengaruhi kecepatan putar (Rpm) roda gila mesin stirling. Penyerapan panas yang tinggi menunjukkan bahwa desain mesin Stirling cukup efektif dalam menghasilkan energi panas. Absorpsivitas termal dipengaruhi oleh desain silinder Hot chamber dan Cold chamber mesin stirling dimana apabila permukaan dan luas ruang panas pada mesin stirling besar maka penyerapan panasnya akan semakin lama akan tetapi dapat menyimpan panas dalam jumlah yang lumayan besar.

Posisi mesin stirling harus tepat pada titik fokus, sehingga akibat keadaan lingkungan yang tidak stabil, harus dilakukan *tracking* mengikuti arah matahari, dan konstruksi alat harus sesuai, tidak boleh terlalu besar atau terlalu kecil dan tidak boleh terlalu ringan atau terlalu berat, serta material bahan yang digunakan harus kuat tapi ringan, karena mesin ini melakukan prinsip pemuaian dan penyusutan, sehingga mesin beroperasi dengan mudah dan cepat, tetapi tidak mudah rusak.

4.5 Manfaat Energi Matahari dalam Perspektif Islam

Matahari merupakan salah satu ciptaan Allah SWT yang memberikan manfaat besar untuk kehidupan. Matahari bukan hanya untuk menyinari bumi, dan sebagai pemanas, namun masih banyak manfaat matahari dalam kehidupan, salah satunya yaitu matahari sebagai sumber energi panas yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik dan energi listrik, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai

pembangkit energi listrik. Allah SWT berfirman dalam surat Yunus (10): 5, sebagaimana berikut:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا
عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

“Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kekuasaan-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.” (QS. Yunus: 5).

“Dialah yang telah menjadikan matahari bersinar dan menjadikan bulan bercahaya”. Sesungguhnya Tuhanmu yang telah menjadikan langit dan bumi, itulah yang mengakibatkan matahari bersinar pada siang hari menyinari bumi, menjadi pembangkit panas dan tenaga bagi alam yang hidup, bagi binatang ataupun tumbuh-tumbuhan, dan Dialah yang menjadikan bulan bercahaya pada malam hari (ash-Shiddieqy, 2002).

Abu Ja'far Muhammad bin Ath-Thabari menafsirkan kata الشَّمْسُ ضِيَاءً yaitu *“matahari yang bersinar”* pada siang hari, dan kata الْقَمَرُ نُورًا *“dan bulan yang bercahaya”* pada malam hari. Artinya, Dialah yang memberikan sinar kepada matahari dan cahaya kepada bulan (Ath-Thabari, 2009).

Al-Qarni juga menafsirkan surat yunus (10): 5 bahwa Allah SWT merupakan satu-satunya yang menjadikan matahari bersinar untuk alam semesta dan menjadikan bulan bercahaya untuk jagad raya. Sinar matahari membara panas

dan cahaya bulan berpendar dingin. Allah SWT yang mengedarkan bulan pada orbit-orbit yang sudah diketahui. Dengan matahari, dapat dihitung hari-hari, dan dengan bulan, dapat diketahui pergantian tahun (al-Qarni, 2007).

Cahaya matahari mengandung energi panas yang memberikan manfaat untuk jagad raya. Berdasarkan kajian fisika, cahaya mempunyai sifat dualisme, yakni selain bersifat sebagai gelombang, cahaya juga bersifat sebagai partikel yang disebut foton. Sebuah foton adalah satu kuantum energi elektromagnet yang diserap atau dipancarkan (Krane, 2014).

Energi bersifat kekal, sehingga energi matahari tidak dapat musnah begitu saja. Namun, energi tersebut dapat dirubah menjadi energi lain yang lebih bermanfaat seperti halnya energi listrik. Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan menggunakan prinsip kerja mesin stirling, yang memanfaatkan sifat dasar udara, yaitu udara akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan, sehingga piston akan bergerak dan roda gila akan berputar menjadi energi mekanik.

Pada umumnya, masyarakat masih banyak yang menggunakan sumber energi fosil untuk memenuhi kebutuhannya, dimana energi fosil merupakan salah satu energi tidak terbarukan, apabila digunakan secara terus-menerus, maka ketersediaan energi fosil tersebut akan berkurang, serta menimbulkan banyak dampak negatif, diantaranya dapat menyebabkan pemanasan global, membahayakan kesehatan manusia, serta menyebabkan pencemaran lingkungan. Sehingga apabila manusia sebagai khalifah di bumi tidak memikirkan jangka

panjang dari perbuatannya maka dapat dipastikan bumi ini akan hancur karena tidak seimbang. Sebagaimana Firman Allah SWT dalam surat ar-Rum (22): 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S. ar-Rum: 41)

Kata “*zhahara*” berarti terjadilah sesuatu di permukaan bumi, sehingga nampak dengan jelas. Kata “*al-fasaad*” menurut al-Ashfahani adalah keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak. Kata “*al-barr*” diartikan sebagai kerusakan di daratan seperti pembunuhan, kekeringan, ketidakseimbangan lingkungan dan kekurangan manfaat. Ibn ‘Asyur mengatakan bahwa Allah SWT menciptakan alam raya dengan sangat serasi sesuai kehidupan manusia. Tetapi mereka melakukan kegiatan yang merusak, sehingga terjadi ketidakseimbangan dalam sistem kerja alam (Shihab, 2003).

Manusia memiliki tanggung jawab dalam melestarikan dan menjaga alam. Karena Allah SWT memberikan karunia berupa akal untuk berfikir. Oleh karena itu, sebagai fisikawan muslim, kita harus menerapkan ilmu dan pengetahuan sesuai dengan al-Quran, dengan memberikan teknologi baru yang memanfaatkan alam tanpa harus merusaknya, sehingga mendatangkan kemaslahatan untuk kehidupan. Salah satunya dengan memanfaatkan matahari sebagai sumber energi dengan menggunakan prinsip mesin stirling. Matahari mampu menyediakan energi dalam waktu yang lama dan tidak akan habis, serta merupakan sumber

energi *renewable* yang ramah lingkungan, murah, mudah didapatkan, dan lebih efisien.

Meneliti dan memikirkan segala ciptaan Allah SWT merupakan suatu anjuran bagi manusia terutama kaum muslimin yang berlandaskan al-Quran. Setiap ciptaanNya pasti ada banyak manfaat, keajaiban dan keserasian yang menunjukkan kekuasaanNya. Allah SWT menciptakan semua itu tidaklah untuk maksud yang percuma, melainkan berdasarkan hak dengan tujuan yang benar, disertai hikmah yang tinggi untuk kehidupan, agar manusia menyembahNya dan berusaha mengenalNya melalui ciptaanNya.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Unjuk kerja reflektor parabolik mampu meningkatkan intensitas radiasi matahari dengan perbesaran 2,7 kali. Hal ini disebabkan karena reflektor parabolik dapat mengumpulkan dan memantulkan intensitas cahaya matahari dengan optimal pada titik fokus (*hot chamber*) sebagai sumber panas mesin stirling.
2. Unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 315°C , kecepatan putar roda 594 rpm, dan efisiensi 8,6%, sedangkan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma tanpa sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 297°C , kecepatan putar roda 542 rpm, dan efisiensi 7,3%.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari skripsi ini, maka diberikan beberapa saran berikut:

1. Membuat pendingin yang lebih optimal, baik pada desainnya maupun bahannya.
2. Menggunakan sumber panas dari lampu halogen, sehingga intensitasnya dapat diatur, dan tidak bergantung pada keadaan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus. 2008. *Unjuk Kerja Stirling Engine Type Gamma 40cc terhadap Variasi Tekanan*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Amalia dan Satwiko. 2009. *Optimalisasi Output Modul Surya Polikristal Silikon dengan Cermin Datar sebagai Reflektor pada Sudut 60°*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Ardiani, Eko Dewi. 2005. *Optimalisasi Rangkaian Panel Surya dengan menggunakan Battery PB-Acid sebagai Sistem Penyimpanan Energi Surya*. Malang: UIN Press.
- Arifin, dkk. 2014. *Makalah Pemanfaatan Energi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Avivi, Hasnan Adip. 2015. *Matahari dalam Perspektif Al-Qur'an*. Bogor: Pustaka Imam Syafi'i.
- Awwaludin, Muhammad. 2007. *Analisis Perpindahan Kalor Pada Heat Exchanger Pipa Ganda Dengan Sirip Berbentuk Delta Wing*. Skripsi. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik.
- Cronenberg, G. 2005. *The Stirling Engine*. Swedia: Uppsala Univeristy.
- Giancolli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hanif, M. Ramzam. 2012. *Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angles*. Pakistan: NP.
- Hartomo, 1992. *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang Press.
- Harun. 2003. *Perancangan dan Pembuatan Alat Peraga Mesin Stirling di SMK PGRI 1 Surakarta*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Incopera, Frank P, David P, dan Dewwit. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Fifth Edition*. Singapore: John Wiley and Sons Pte. Ltd.
- Juoro, Umar. 2011. *Kebenaran al-Qur'an dalam Sains*. Jakarta: Pustaka Cidesindo.
- Koestoer, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Muchammad dan Hendri. 2011. *Peningkatan Efisiensi Modul Surya 50 Wp dengan Penambahan Reflektor*. Semarang: Universitas Diponegoro.

- Nugroho. 2012. *Analisis Kelayakan Hasil Rancangan Pembangkit Listrik Berbasis Mesin Stirling dengan Decision Tree Analysis sebagai Metode Pemilihan Tipe Mesin*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Pawawoi, Andi. 2013. *Energi dan Dasar Konversi Energi Listrik*. Padang: Universitas Andalas.
- Pitt dan Sissom. 2011. *Pengaruh Bentuk Plat Absorber Pada Solar Water Heater Terhadap Efisiensi Kolektor*. Tegal: UPS.
- Al-Qarni, 'Aidh. 2007. *Tafsir Muyassar Jilid 2*. Jakarta: Qisthi Press.
- Reynolds, Tom D dan Richards, Paul A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company: Boston.
- Ridlo, Muhammad Wahyu. 2010. *Pemantulan Bolak -Balik pada Cermin tak Sejajar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Ash-Shiddieqy, Muhammad Hasbi. 2002. *Tafsir al-Qur'anul Majid an-Nur Jilid 2*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Shihab, M. Quraish. 2003. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an volume 6*. Jakarta: Lentera Hati.
- Supramono, eddy. 2005. *Fisika dasar 2*. malang: universitas negeri malang press.
- Syafriyudin, dkk. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari Berbasis Mesin Stirling untuk Skala Rumah Tangga*, Jurnal Teknologi Volume 6 No.2 Desember 2013, Ist Akprind Yogyakarta.
- Syafriyudin, dan Susatriawan. 2014. *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari dengan Penjejak Panas Berbasis Mesin Stirling*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST).
- Ath-Thabari, Abu Ja'far Muhammad. 2009. *Tafsir Ath-Thabari Jilid 13*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Usmadi. 2006. *Perancangan Termodinamik Sirkuit Gas Motor Stirling FP150W dengan Metode Penskalaan*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Vineeth. 2011. *Stirling Engines: A Begineers Guide*. India: NP.
- Widodo. 2013. *Studi Eksperimen Output Daya pada Motor Stirling TD 295 Tipe Gamma dengan Menggunakan Stirling Engine Control V.1.5.0*. Batam: Politeknik Negeri Batam.
- Wilis, Galuh Renggani. 2014. *Variasi Sudut Kemiringan Kolektor Surya Solar Water Heater*. Tegal: Fakultas Teknik Universitas Pancasakti.

Lampiran 1

Data Mentah Hasil Penelitian

1. Data Hasil Penelitian dengan Menggunakan Sistem Aliran Air

NO	T _{Panas} (°C)	T _{Dingin} (°C)	I _{Sebelum} difokuskan (Lux)	I _{Sesudah} difokuskan (lux)	Rpm	F (N)	r (m)
1	209	17	604	1643	287	0,14	0,1
2	253	20	426	1655	829	0,21	0,1
3	229	19	632	1652	318	0,15	0,1
4	232	18	651	1665	330	0,15	0,1
5	118	45	931	2181	119	0,09	0,1
6	247	21	682	1684	382	0,15	0,1
7	255	20	688	1691	402	0,16	0,1
8	351	46	989	1597	105	0,09	0,1
9	264	20	696	1748	450	0,16	0,1
10	267	17	705	1769	466	0,16	0,1
11	299	35	819	1845	847	1,19	0,1
12	278	19	722	1799	479	0,16	0,1
13	281	20	729	1818	487	0,16	0,1
14	274	33	649	1728	912	0,19	0,1
15	293	23	756	1844	509	0,17	0,1
16	305	18	763	1856	522	0,17	0,1
17	294	47	752	1649	116	0,11	0,1
18	211	19	605	1645	289	0,14	0,1
19	333	23	808	1922	581	0,17	0,1
20	341	37	997	1622	873	0,19	0,1
21	217	18	619	1649	299	0,14	0,1
22	241	20	677	1673	376	0,15	0,1
23	259	18	690	1722	428	0,16	0,1
24	271	17	717	1786	471	0,16	0,1
25	278	19	722	1799	479	0,16	0,1
26	333	23	808	1922	581	0,17	0,1
27	241	20	677	1673	376	0,15	0,1
28	287	25	743	1832	493	0,16	0,1
29	316	18	777	1871	548	0,17	0,1
30	320	20	799	1894	559	0,17	0,1
31	340	25	813	1947	594	0,17	0,1
32	304	18	763	1856	519	0,17	0,1

33	319	63	822	1913	116	0,12	0,1
34	339	35	996	1619	99	0,09	0,1
35	281	54	809	1892	937	0,19	0,1
36	231	22	635	1654	320	0,15	0,1

2. Data Hasil Penelitian tanpa Menggunakan Sistem Aliran Air

NO	T _{Panas} (°C)	T _{Dingin} (°C)	I _{Sebelum} difokuskan (Lux)	I _{Sesudah} difokuskan (Lux)	Rpm	F (N)	r (m)
1	214	34	592	1626	253	0,14	0,1
2	219	35	633	1647	261	0,14	0,1
3	241	39	712	1662	716	0,18	0,1
4	226	36	664	1673	281	0,14	0,1
5	232	40	672	1684	294	0,14	0,1
6	119	37	695	1919	99	0,09	0,1
7	248	50	685	1715	321	0,15	0,1
8	278	56	688	1739	606	0,17	0,1
9	266	41	692	1746	341	0,15	0,1
10	269	43	693	1758	359	0,15	0,1
11	299	21	709	1791	109	0,1	0,1
12	281	35	711	1792	372	0,15	0,1
13	285	38	729	1822	389	0,15	0,1
14	330	54	789	1898	519	0,17	0,1
15	329	51	753	1943	905	0,19	0,1
16	307	48	747	1874	487	0,16	0,1
17	313	50	748	1882	504	0,16	0,1
18	329	52	788	1899	518	0,17	0,1
19	332	50	790	1919	537	0,17	0,1
20	336	39	796	1927	542	0,17	0,1
21	215	33	596	1625	255	0,14	0,1
22	223	38	649	1655	275	0,14	0,1
23	241	44	672	1696	308	0,15	0,1
24	250	49	689	1733	335	0,15	0,1
25	274	35	699	1774	368	0,15	0,1
26	289	40	733	1843	421	0,16	0,1
27	189	27	871	1951	527	0,17	0,1
28	335	37	797	1928	543	0,17	0,1
29	296	44	735	1866	456	0,16	0,1

Lampiran 2

Data Olahan Hasil Penelitian

1 Data Hasil Penelitian dengan Menggunakan Sistem Aliran Air

NO	T _{panas} (°C)	T _{Dingin} (°C)	ΔT (°C)	I _{Sebelum} difokuskan (W/m ²)	I _{Sesudah} difokuskan (W/m ²)	RPM	Torsi (Nm)	P in (Watt)	P out (Watt)	η (%)
1	214	17	197	477	1298	287	0,014	11,29	0,42	3,7
2	217	18	199	489	1303	299	0,014	11,33	0,44	3,9
3	229	19	210	499	1305	318	0,015	11,35	0,50	4,4
4	232	18	214	514	1315	330	0,015	11,44	0,52	4,5
5	241	20	221	535	1322	376	0,015	11,50	0,59	5,1
6	247	21	226	539	1330	382	0,015	11,57	0,60	5,2
7	255	20	235	544	1336	402	0,016	11,62	0,67	5,8
8	259	18	241	545	1360	428	0,016	11,84	0,72	6,1
9	264	20	244	550	1381	450	0,016	12,01	0,75	6,3
10	267	17	250	557	1398	466	0,016	12,16	0,78	6,4
11	271	17	254	566	1411	471	0,016	12,28	0,79	6,4
12	278	19	259	570	1421	479	0,016	12,36	0,80	6,5
13	281	20	261	576	1436	487	0,016	12,50	0,82	6,5
14	287	25	262	587	1447	493	0,016	12,59	0,83	6,6
15	293	23	270	597	1457	509	0,017	12,67	0,91	7,1
16	305	18	287	603	1466	522	0,017	12,76	0,93	7,3
17	316	18	298	614	1478	548	0,017	12,86	0,98	7,6
18	320	20	300	631	1496	559	0,017	13,02	0,99	7,6
19	333	23	310	638	1518	581	0,017	13,21	1,03	7,8
20	340	25	315	642	1538	594	0,017	13,38	1,06	8,6
$\bar{X}$	272	20	253	564	1401	449	0,016	12,19	0,76	7,1

2 Data Hasil Penelitian tanpa Menggunakan Sistem Aliran Air

NO	T _{panas} (°C)	T _{Dingin} (°C)	ΔT (°C)	I _{Sebelum} difokuskan (W/m ²)	I _{Sesudah} difokuskan (W/m ²)	Rpm	Torsi (Nm)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	η (%)
1	209	34	175	468	1285	253	0,014	11,18	0,37	3,3
2	219	35	184	500	1301	261	0,014	11,32	0,38	3,4
3	223	38	185	513	1307	275	0,014	11,37	0,40	3,5
4	226	36	190	525	1322	281	0,014	11,50	0,41	3,6
5	232	40	192	531	1330	294	0,014	11,57	0,43	3,7
6	241	44	197	531	1340	308	0,015	11,66	0,48	4,1
7	248	50	198	541	1355	321	0,015	11,79	0,50	4,3
8	250	49	201	544	1369	335	0,015	11,91	0,53	4,4
9	266	41	225	547	1379	341	0,015	12,00	0,54	4,5
10	269	43	226	547	1389	359	0,015	12,08	0,56	4,7
11	274	35	239	552	1401	368	0,015	12,19	0,58	4,7
12	281	35	246	562	1416	372	0,015	12,32	0,58	4,7
13	285	38	247	576	1439	389	0,015	12,52	0,61	4,9

14	289	40	249	579	1456	421	0,016	12,67	0,71	5,6
15	296	44	252	581	1474	456	0,016	12,83	0,76	6,0
16	307	48	259	590	1480	487	0,016	12,88	0,82	6,3
17	313	50	263	591	1487	504	0,016	12,93	0,84	6,5
18	329	52	277	623	1500	518	0,017	13,05	0,92	7,1
19	332	50	282	624	1516	537	0,017	13,19	0,96	7,2
20	336	39	297	629	1522	542	0,017	13,24	0,96	7,3
$\bar{X}$	271	42	229	558	1403	381	0,015	12,21	0,62	5,0



Lampiran 3

Data Perbesaran Intensitas Matahari

1. Data Perbesaran Intensitas Matahari pada Sistem Aliran Air

NO	$I_{\text{Sebelum difokuskan}} \text{ (W/m}^2\text{)}$	$I_{\text{Setelah difokuskan}} \text{ (W/m}^2\text{)}$	Perbesaran (Kali)
1	499	1298	2,6
2	489	1303	2,7
3	499	1305	2,6
4	514	1315	2,6
5	535	1322	2,5
6	539	1330	2,5
7	544	1336	2,5
8	545	1360	2,5
9	550	1381	2,5
10	557	1398	2,5
11	566	1411	2,5
12	570	1421	2,5
13	576	1436	2,5
14	587	1447	2,5
15	597	1457	2,4
16	603	1466	2,4
17	614	1478	2,4
18	631	1496	2,4
19	638	1518	2,4
20	642	1538	2,4

2. Data Perbesaran Intensitas Matahari tanpa Sistem Aliran Air

NO	$I_{\text{Sebelum difokuskan}} \text{ (W/m}^2\text{)}$	$I_{\text{Setelah difokuskan}} \text{ (W/m}^2\text{)}$	Perbesaran (Kali)
1	468	1285	2,7
2	500	1301	2,6
3	513	1307	2,6
4	525	1322	2,5
5	531	1330	2,5
6	531	1340	2,5
7	541	1355	2,5
8	544	1369	2,5
9	547	1379	2,5
10	547	1389	2,5
11	552	1401	2,5
12	562	1416	2,5

13	576	1439	2,5
14	579	1456	2,5
15	581	1474	2,5
16	590	1480	2,5
17	591	1487	2,5
18	623	1500	2,4
19	624	1516	2,4
20	629	1522	2,4
X	558	1403	2,5



Lampiran 4

Dokumentasi



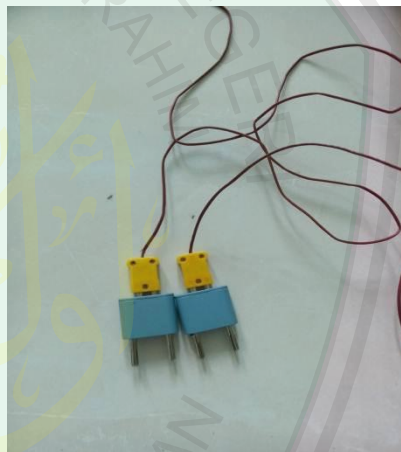
Gambar 1. Neraca Pegas



Gambar 2. Luxmeter



Gambar 3. Multimeter



Gambar 4. Termokopel



Gambar 5. Stopwatch



Gambar 6. Tachometer



Gambar 7. Rancangan mesin stirling tipe gamma dengan reflektor parabolik dan sistem aliran air pada reservoir rendah



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Intan Putri Nazila
NIM : 12640025
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik dan Sistem Aliran Air pada Reservoir Rendah
Pembimbing I : Ahmad Abtokhi, M.Pd
Pembimbing II : Umaiyyatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	Materi	Tanda Tangan Pembimbing
1	14 Februari 2016	Konsultasi Bab I	
2	20 Februari 2016	Konsultasi Bab II	
3	03 Maret 2016	Konsultasi Bab III	
4	05 April 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab I	
5	11 April 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab II	
6	24 Mei 2016	Konsultasi Bab IV	
7	15 Juni 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
8	16 Juni 2016	Konsultasi Bab V	
9	28 Juli 2016	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
10	29 Juli 2016	Konsultasi Keseluruhan dan Acc	

Malang, 4 Agustus 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009