

**EFEK TEBAL LENS PEMFOKUS CAHAYA MATAHARI
SEBAGAI SUMBER PANAS MESIN STIRLING TIPE GAMMA
UNTUK MENGKONVERSI ENERGI PANAS
MENJADI ENERGI MEKANIK**

SKRIPSI

Oleh:

EVITA MUTHI'ATUL MAULA

NIM. 12640052



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

**EFEK TEBAL LENS PEMFOKUS CAHAYA MATAHARI
SEBAGAI SUMBER PANAS MESIN STIRLING TIPE GAMMA
UNTUK MENGKONVERSI ENERGI PANAS
MENJADI ENERGI MEKANIK**

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:

**EVITA MUTHI'ATUL MAULA
NIM. 12640052**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

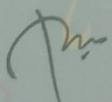
**EFEK TEBAL LENS PEMFOKUS CAHAYA MATAHARI
SEBAGAI SUMBER PANAS MESIN STIRLING TIPE GAMMA
UNTUK MENGONVERSI ENERGI PANAS
MENJADI ENERGI MEKANIK**

SKRIPSI

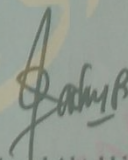
Oleh:
EVITA MUTHI'ATUL MAULA
NIM. 12640052

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: 6 Juni 2016

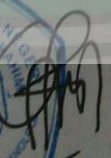
Pembimbing I,


Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II,


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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika


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

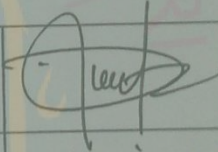
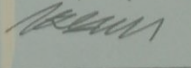
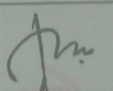
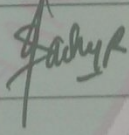
HALAMAN PENGESAHAN

EFEK TEBAL LENS PEMFOKUS CAHAYA MATAHARI
SEBAGAI SUMBER PANAS MESIN STIRLING TIPE GAMMA
UNTUK MENGKONVERSI ENERGI PANAS
MENJADI ENERGI MEKANIK

SKRIPSI

Oleh:
EVITA MUTHI'ATUL MAULA
NIM.12640052

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 5 September 2016

Penguji Utama :	<u>Drs. Mokhammad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji :	<u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Sekretaris Penguji :	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : EVITA MUTHI'ATUL MAULA

NIM : 12640052

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Efek Tebal Lensa Pemfokus Cahaya Matahari Sebagai Sumber Panas Mesin Stirling Tipe Gamma Untuk Mengkonversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik

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, 31 Agustus 2016
Yang Membuat Pernyataan,



EVITA MUTHI'ATUL MAULA
NIM. 12640052

MOTTO

حَيْرُ النَّاسِ أَحْسَنُهُمْ خُلُقًاوَأَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

sebaik-baiknya manusia itu, adalah yang terlebih baik budi pekertinya dan yang lebih bermanfaat bagi orang lain.

Selalu ada harapan bagi mereka yang

BERUSAHA & BERDO'A

"SETIAP LANGKAH BESAR SELALU DIMULAI DENGAN LANGKAH PERTAMA"



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur sedalam-dalamnya penulis persembahkan

for my best parents, Abah Mahfudz Abd. Salam dan Umi Siti

Ruqayyah

Terima kasih atas curahan kasih sayang yang tiada henti, pengorbanan tanpa mengenal waktu, serta motivasi yang telah ayahanda dan ibunda bangun dalam jiwa ini.

Kakak tercinta Mas Hasan Burhani dan Adik tersayang Nailinda Amaliyatul

Firdausiyah

Terima kasih do'a dukungan dan kasih sayang yang dicurahkan

Orang-orang yang menjadi frontliner dalam memperjuangkan mimpi ini,

untuk rekan relawan LPPM UIN Malang Hasan ashari, Moh. Afifuddin, Jn.

Raisa Haq, M. Anwar Rais, Ika Maulidiyah, Septa prifanti, Indah Bagus

Widiastuti, dan semuanya yang tak bisa disebutkan satu persatu.

Sahabat fisika Galileo 2012, Lilis Erlinawati, Chalima Sya'diyah, Abdul Baqi,

A. Miftahul Erfan, Syaiful Bahri, Wiji wulansari, M. Sufyan Afif dan M. Makbul.

Sahabat pergerakan dan perjuangan

Teman perjuangan dari awal kuliah, Rina Agustina, Anis Choiriyah, Nizara

Isnanda, Umi Azizah. *Terima kasih kebersamaannya*

Wisma Catalonia, abah Ghufroon Hambali dan umi, Nikmatul Masruroh, Yayuk

Hadizatul Ilmi, Fitri astriana dewi, Khoirutun Nikmah, Anggun Shofiana, Uvi

Farida, Fatimatus Zahro, Chulatul Choyumi, Rizki elok pradana dan semuanya yang tak bisa disebutkan satu persatu.

Sahabat kesayangan, *Mauidzatul Hasanah saif bigthanks for everything*

Stirling engine team

M. Ulin Nuha, Intan Putri Nazila Wahyu Tri Saputra dan Zulfi Farida A.

KATA PENGANTAR



AssalamualaikumWr.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 Rasulullah, Nabi besar Muhammad Saw serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas ridlo dan kehendak Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul **Efek Tebal Lensa Pemfokus Cahaya Matahari Sebagai Sumber Panas Mesin Stirling Tipe Gamma Untuk Mengkonversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya 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 Raharjo, M.Si, selaku rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Farid Samsu Hananto, M.T dan Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberikan pengarahan dan pengalaman yang berharga.
5. 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.

6. Segenap sivitas akademika Jurusan Fisika, Fisika Instrumentasi dan Komputasi, terima kasih atas semua bantuan, semangat, serta motivasinya.
7. Ayahanda Machfudz Abd. Salam, S.H dan Ibunda tercinta Siti Ruqayyah yang senantiasa memberikan yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis..
8. Kakak Mas Hasan Burhani Machfudz dan adik Nailinda Amaliatul Firdausiyah Machfudz yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua rekan relawan LPPM UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberi semangat dan dukugan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 5 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR HALAMAN	ii
HALAMAN PEERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Matahari	6
2.1.1 Matahari dalam Al-Qur'an	6
2.1.2 Matahari dalam Ilmu Fisika	11
2.1.3 Energi surya	13
2.1.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi	16
2.2 Teknologi Konversi Energi Matahari	18
2.3 Perpindahan panas	18
2.3.1 Konduksi	19
2.3.2 Konveksi	20
2.3.3 Radiasi	21
2.4 Mesin Stirling	22
2.4.1 sejarah Mesin Stirling	22
2.4.2 Siklus mesin stirling	23
2.5 Bagian-bagian Mesin Stirling	25
2.5.1 Heat Exchanger	25
2.5.2 Piston	26
2.5.3 Displacer	27
2.5.4 Flayweel	27
2.6 Jenis-jenis Mesin Stirling	28
2.6.1 Tipe Alfa	29
2.6.2 Tipe Beta	31
2.6.3 Tipe Gama	32
2.7 Lensa dan prinsip pembiasan	33

2.8 Unjuk kerja mesin Stirling	36
2.8.1 Daya keluaran mesin Stirling	37
2.8.2 Daya masukan mesin Stirling	37
2.8.3 Torsi (Momen putar)	38
2.8.4 Kecepatan sudut (rpm)	39
2.8.5 Efisiensi	40
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	41
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.3 Alat dan Bahan	41
3.4 Desain Penelitian	43
3.4.1 Desain lensa air	43
3.4.2 Desain mesin Stirling tipe gama	44
3.4.2 Desain penyangga lensa	45
3.5 Teknik Perancangan Alat	46
3.6 Diagram Alir Penelitian	48
3.6 Teknik Pengambilan Data	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian	51
4.1.1 Pembuatan alat	51
4.1.2 Unjuk kerja alat	54
4.1.3 Perhitungan unjuk kerja mesin Stirling tipe gama	56
4.1.4 Hubungan selisih suhu dengan rpm	56
4.1.5 Penguatan intensitas cahaya matahari	59
4.1.6 Efisiensi	60
4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja mesin Stirling	60
4.2.1 Suhu lingkungan	60
4.2.2 Absorbsivitas termal	61
4.3 Pemanfaatan cahaya sebagai sumber eneri dalam prespektif al Qur'an	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Matahari	14
Gambar 2.2	Bumi menerima radiasi surya matahari	14
Gambar 2.3	Spektrum Frekuensi Gelombang Elektromagnetik	15
Gambar 2.4	Radiasi sorotan dan sebaran yang mengenai permukaan bumi ...	16
Gambar 2.5	Arah sinar datang membentuk sudut normal bidang panel surya	17
Gambar 2.6	Siklus mesin Stirling pada daigram PV dan TS	23
Gambar 2.7	Heat Exchanger	25
Gambar 2.8	Piston	26
Gambar 2.9	Displacer	27
Gambar 2.10	Flyweel	27
Gambar 2.11	Skema kerja Mesin Striling jenis Alpha	30
Gamabr 2.12	Siklus Mesin Stirling Beta	31
Gambar 2.13	Mesing stirling Tipe Gama	32
Gambar 2.14	Titik fikus pertama dan kedua lenda konvergen tipis	33
	Transfer fluida kerja dari sisi panas ke dingin	36
Gambar 2.15	Pembiasan cahaya pada medium yang berbeda	35
Gambar 2.16	Prinsip dinamometer	39
Gambar 3.1	Skema pemfokus cahaya matahari menggunakan lensa air	43
Gambar 3.2	Skema mesin Stirling tipe gamma menggunakan konsentrator matahari (lensa air)	44
Gambar 3.3	Mesin Stirling tipe gamma	45
Gambar 3.4	Alur Penelitian	48
Gambar 4.1	Lensa air	52
Gambar 4.2	Grafik selisih suhu pada rpm menggunakantebal lensa 15 cm...	57
Gambar 4.3	Grafik selisih suhu pada rpm menggunakantebal lensa 20 cm...	57
Gambar 4.4	Grafik selisih suhu pada rpm menggunakantebal lensa 25 cm...	57
Gambar 4.5	Efisiensi	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konduktivitas termal bahan	20
Tabel 2.2 Indeks bias (Refraksi) zat/bahan	36
Tabel 3.1 Pengukuran Hasil Penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 15 cm.....	49
Tabel 3.2 Pengukuran Hasil Penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 20 cm	49
Tabel 3.3 Pengukuran Hasil Penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 25 cm	49
Tabel 4.1 Material yang digunakan dalam mesin Stirling	53
Tabel 4.2 Spesifikasi mesin Stirling tipe gama	54
Tabel 4.3 Perbandingan parameter unjuk kerja mesin dengan penggunaan tebal lensa yang berbeda.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data hasil penelitian
- Lampiran 2. Data selisih suhu dan RPM mesin Stirling
- Lampiran 3. Data penguatan intensitas cahaya matahari
- Lampiran 4. Efisiensi
- Lampiran 5. Foto kegiatan
- Lampiran 6. Data hasil perhitungan



ABSTRAK

Maula, Evita Muthi'atul. 2016. **Efek Tebal Lensa Pemfokus Cahaya Matahari Sebagai Sumber Panas Mesin Stirling Tipe Gamma Untuk Mengkonversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Stirling, tipe gamma, Lensa air, Pemfokus, Cahaya, Matahari, Energi Panas, Energi Mekanik.

Mesin Stirling merupakan salah satu media konversi energi alternatif menjadi beberapa energi sesuai kebutuhan masyarakat dalam skala rumah tangga. Selain panas matahari, mesin Stirling dapat menggunakan beberapa sumber panas lainnya sebagai bahan bakar. Untuk mendapatkan panas maksimal yang akan diterima *hot chamber* mesin Stirling digunakan lensa air sebagai pemfokus cahaya matahari. Penggunaan lensa cembung datar (plan konveks) mampu meningkatkan intensitas berkas cahaya matahari. Rata-rata maksimal penguatan intensitas cahaya matahari mampu mencapai 2,4 kali perbesaran intensitas semula. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan panas matahari sebagai energi terbarukan menggunakan mesin Stirling tipe gamma untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Peningkatan panas matahari berpengaruh terhadap kinerja mesin stirling, semakin tinggi peningkatan kecepatan putar flywheel pada mesin stirling. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja mesin stirling yang dilengkapi dengan lensa air sebagai pemfokus cahaya matahari. Lensa air ini merupakan lensa cembung datar (Plan Konveks) bersifat konvergen sehingga dapat memfokuskan cahaya matahari mengenai *Hot chamber* mesin Stirling. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang diawali dengan perancangan model mesin Stirling kemudian dilanjutkan dengan pembuatan alat. Sedangkan analisa hasil dilakukan dengan menggunakan pendekatan deskriptif. Hasil penelitian yang disajikan dalam bentuk grafik dianalisa dengan cara mendeskripsikan pengaruh beda suhu (ΔT) mesin stirling terhadap kecepatan putar *flywheel* mesin Stirling (Rpm), pengaruh intensitas penguatan lensa terhadap kecepatan putar *flywheel* mesin Stirling (Rpm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk desain pemfokus cahaya matahari dengan variasi tebal lensa air (15 cm, 20 cm, dan 25 cm) menunjukkan bahwa hasil panas maksimum dan penguatan intensitas radiasi matahari maksimum diperoleh pada penggunaan tebal lensa 25 cm. Pada penelitian ini menggunakan udara sebagai fluida kerjanya, hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putar maksimum mesin Stirling mencapai 642 rpm pada intensitas cahaya matahari 745 W/m^2 dengan penguatan lensa 2,7 kali menjadi 1958 W/m^2 . Efisiensi rata-rata aksimum mesin mencapai 6,07 %.

ABSTRACT

Maula, Evita Muthi'atul. 2016. **The Effect of Thick of Sunlight Concentrator Lens as a Heat Source of Stirling Engine Gamma-Type for Converting Thermal Energy to Mechanical Energy**. Thesis. Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keyword: Stirling engine gamma-type, Water lens, Concentrator, Light, Sun, Thermal Energy, Mechanical Energy.

Stirling engine is one of media conversion alternative of energi into some energies according to community respective need in scale households. Besides the heat of sun Stirling engine can use some other of heat sources. To getting the maximum heat that will be received by hot chamber Stirling engine is use a water lens for sunlight concentrator. The plan convex lens using can increase the intensity of the beam of sunlight. The maximum average of strengthening the intensity of sunlight is able to reach 2.4 times from the original magnification intensity. This study aims to utilize the solar thermal as a renewable energy used by Stirling engine gamma-type to convert into mechanical energy. Increased heat of the sun influences Stirling engine performance, to higher the enhancement speed rotating flywheel on stirling engines. This study also aims to determine Stirling engine performance that equipped with water lens as sun light concentrator. This water lens is convergent convex lens which concentrate the sunlight on hot chamber Stirling engine. The method have used was an experimental method that began with design of the model of Stirling engine and production of tools. While the analysis results are carried out by descriptive approach. The results of the study are presented in graphical that analyzed by describing the influence of temperature different of Stirling engine (ΔT) on the rotational speed of flywheel of Stirling engine (rpm), as well as the effect of magnification lens intensity on the rotational speed of flywheel Stirling engine (rpm). The results showed that design of sunlight concentrator with high curvature of water lens variations (15 cm, 20 cm, and 25 cm) show the maximum heat and solar radiation intensity maximum strengthening obtained on the use of 25 cm thick lens (thickest lenses). This study use air as the working fluid, the results showed that the rotational speed maximum of Stirling engine achieve 642 rad/s on the sun light intensity 745 W/m^2 with magnification of lens 2,54 time thus becoming 1958 W/m^2 . Efficiency maximum of the Stirling engine reaches 6,07%.

مستخلص البحث

مولى، ايفيتا مطيئة ٢٠١٦. أثر ضخم العدسة المركزة إلى ضوء الشمس كمصدر حرارة محرك ستيرلينغ بنوع غاما لتحويل الطاقة الحرارية إلى الطاقة الميكانيكية . بحث علمي جامعي. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. تحت إشراف : فريد شمس حاننتو الماجستير وأحمد ابطخي

الكلمة الرئيسية: ستيرلينغ، نوع جاما، عدسة المياه، تراكيز، ضوء، الشمسية، الطاقة الحرارية، الطاقة الميكانيكية.

ومحرك ستيرلينغ هو أحد الوسائل المحاولة للطاقة الخيارية إلى الطاقات العديدة بحسب حاجة المجموعة في حد العائلة. وسوى حرارة الشمس، استطاع محرك ستيرلينغ أن يستخدم طاقة الحرارة الأخرى للوقود. وللحصول إلى الحرارة العالية التي ستناها *hot chamber* محرك ستيرلينغ مستخدم بعدسة الماء كتركيز ضوء الشمس. واستطاع استخدام عدسة محدبة (*plan konveks*) على ارتفاع كثافة ضوء الشمس. وتقوية كفاءة ضوء الشمس حصل إلى ٢,٤ مرات بتكبير الكثافة الأولى.

وتهدف هذه الدراسة إلى استفادة حرارة الشمس كطاقة متجددة باستخدام محرك ستيرلينغ بنوع غاما لتحويلها إلى طاقة ميكانيكية. وكلما يزداد ارتفاع حرارة الشمس يؤثر على أداء محرك ستيرلينغ وكذلك في ارتفاع زيادة سرعة الدوران دولاب الموازنة على محرك ستيرلينغ.

وتهدف هذه أيضا لمعرفة أداء محرك ستيرلينغ المتكاملة مع عدسة المياه كتركيز ضوء الشمس. وهذه عدسة المياه هي عدسة محدبة (*plan konveks*) وهي متقاربة ويمكن إلى تركيز ضوء الشمس لمعرفة *hot Chamber* محرك ستيرلينغ. والمنهج المستخدم هو المنهج التجريبي الذي يبدأ بتصميم نموذج محرك ستيرلينغ وصنع الأدوات بعد. وأما تحليل النتائج باستخدام المنهج الوصفي. وعرض نتائج البحوث بشكل رسوم ويحليلها بتوصيف تأثير فرق الحرارة (ΔT) من محرك ستيرلينغ على سرعة دوران *flywheel* محرك ستيرلينغ (rpm)، وتأثير تعزيز كثافة من العدسة على سرعة دوران *flywheel* محرك ستيرلينغ (rpm). وأظهرت نتائج البحث أن تصميم تراكيز ضوء الشمس بتنوع تصميم انحاء عدسة المياه (١٥ cm, dan ٢٠ cm, ٢٥) وأظهرت أن نتائج الحد الأقصى للحرارة وتقوية كثافة الطاقة الشمسية في الحد الأقصى حصلت على استخدام عدسة عالية 25 Cm. وفي هذه الدراسة هناك استخدام الهواء ك *Fluida* في العمل، وأظهرت النتائج أن الحد الأقصى في سرعة الدوران لمحرك ستيرلينغ وصل إلى ٢٤٦ rpm في ضوء كثافة ضوء الشمس ٧٤٥ W/m^2 بتقوية العدسة مرة ووصلت ١٩٥٨ W/m^2 . والقدرة في معدل حد أقصى المحرك وصل إلى ٦,٧%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan energi yang diperlukan untuk segala aktifitas hidup semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat, bertambahnya jumlah penduduk, dan pertumbuhan ekonomi. Seperti keperluan alat transportasi, sektor usaha maupun industri. Karena setiap sarana memerlukan energi untuk dapat bekerja. Sumber energi saat ini masih dimanfaatkan dengan mengandalkan sumber minyak bumi sebagai bahan bakar utama. Dimana energi fosil tersebut akan habis jika terus digunakan, jika tidak memperhitungkan siklusnya beribu tahun selanjutnya.

Mengingat isu krisis energi fosil maka perlu diadakannya konservasi energi dalam pemanfaatan energi alternatif yang dapat dikonversi menjadi energi yang sesuai diinginkan serta diperlukan kebijakan dan pengaturan yang lebih baik dan terencana. Konservasi energi adalah penggunaan energi yang disertai usaha-usaha mencari teknologi baru dengan memanfaatkan sumber energi terbaru (misalnya sinar matahari, tenaga air dan panas bumi) yang lebih efisien.

Energi matahari sangat melimpah di muka bumi apalagi negara tropis seperti Indonesia yang terletak pada daerah katulistiwa 6° LU sampai 11° LS. mampu menyediakan energi dalam waktu yang lama dan tidak akan habis. Jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar melebihi kebutuhan konsumsi energi dunia. Hal ini sangat memungkinkan akan menerima secara maksimal energi surya yang berkelanjutan selama beberapa tahun perjalanan surya menyinari bumi.

Maka untuk mencari alternatif energi paling mudah dengan cara memanfaatkan langsung sumber cahaya matahari.

Allah SWT menciptakan matahari memberikan manfaat yang sangat besar untuk makhluk-Nya, sebagaimana seperti dalam firman Allah SWT dalam surat al-Furqan ayat 61:

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. (Q.S al-Furqan: 61)”

Ayat di atas menjelaskan bahwa matahari memancarkan sinar ke suatu objek jauh lebih kuat dari pada sinar bulan karena matahari memiliki potensi sendiri dalam bentuk energi. Dia menjadikan juga padanya bulan bersinar, karena bulan tidak bisa memantulkan cahaya tanpa bantuan sinar matahari. Hal ini mengisyaratkan adanya perbedaan antara matahari dan bulan.

Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia terhitung sejak 2002 yaitu 40 tahun untuk minyak, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil tersebut, perlu adanya inovasi baru dalam pemanfaatan penggunaan sumber energi tak terbahurui menuju sumber energi yang terbahurui (energi alternatif). Dari sekian banyak sumber energi terbahurui seperti angin, biomass dan *hydro power*, penggunaan energi melalui *solar cell*/sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Hal ini dikarenakan jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar, sekitar 700 Megawatt

setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia.

Banyak peneliti telah meneliti berbagai sumber energi terbarukan dan mengembangkan sistem konversi energi alternatif. Salah satu sistem konversi energi yang cukup layak dan menjanjikan dan sangat potensial untuk dikembangkan salah satu contohnya yaitu pemanfaatan energi matahari untuk menghasilkan energi mekanik adalah mesin stirling. Dimana energi panas matahari sebagai sumber energi utama energi mesin Stirling. Mesin Stirling sebenarnya telah lama ditemukan namun perkembangannya saat itu kalah bersaing dengan mesin pembakaran internal. Kemudian dalam beberapa tahun terakhir ini mesin Stirling kembali dilirik sebab sangat berpotensi untuk dikembangkan, selain itu dapat diperoleh dengan mudah dari semua energi sebagai sumber panas mesin, lebih efisien, hemat bahan bakar, ramah lingkungan serta tidak polusi udara maupun suara.

Telah dilakukan banyak penelitian mengenai mesin Stirling antara lain, syafirudin, Mursid Abdullah dkk, 2013, *Pembangkit listrik Tenaga Panas Matahari Berbasis Mesin Stirling Untuk Skala Rumah Tangga*. Kecepatan putaran mesin maksimal dicapai pada suhu 86,9 °C. Dengan kecepatan putar mencapai 482 rpm.

Widodo, 2013, membuat mesin Stirling TD 295 jenis gamma dengan sumber panas dari matahari. Hasil penelitiannya pada putaran motor 275 rpm, suhu masukan 31,90 °C dan flow rate 4,30 l/min menghasilkan daya output sebesar 569,18 watt.

Syaifuddin dkk, membuat mesin Stirling jenis gamma dengan sumber panas dari matahari yang menggunakan konsentrator parabolik. Muhakiki, 2003 menggunakan panas bumi sebagai sumber panas mesin stirling yang dibuat. Honglin Chen, 2014 membuat mesin Stirling sebagai penggerak generator listrik.

Sesuai penjelasan diatas, untuk mendapat parameter unjuk kerja mesin Stirling yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai mesin Stirling dimana panas matahari sebagai sumber panas mesin dapat diperbesar dengan bantuan penggunaan lensa air untuk memfokuskan cahaya matahari yang diterima pipa silinder mesin untuk mengkonversi energi panas matahari menjadi energi mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi terhadap kebutuhan energi masyarakat yang kemudian dapat diaplikasikan untuk kebutuhan manusia melakukan aktifitasnya sehari-hari dalam skala rumah tangga. Seperti pengairan sawah dimusim kemarau dapat digantikan menggunakan mesin stirling yang awalnya menggunakan mesin desel yang menggunakan bahan bakar minyak dan listrik yang memerlukan biaya operasional yang mahal terutama bagi petani dalam skala kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pendahuluan yang dijabarkan pada sub bab sebelumnya penulis merumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh beda suhu panas dan dingin (ΔT) mesin Stirling tipe gamma menggunakan pemfokus cahaya matahari terhadap kecepatan putar mesin Stirling (rpm) ?

2. Bagaimana pengaruh variasi tebal lensa terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima mesin Stirling ?
3. Berapakah besar nilai efisiensi mesin stirling ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh beda suhu panas dan dingin (ΔT) mesin Stirling tipe gamma menggunakan pemfokus cahaya matahari terhadap kecepatan putar mesin Stirling (rpm).
2. Untuk mengetahui Bagaimana pengaruh variasi tebal lensa terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima mesin Stirling.
3. Untuk mengetahui besar nilai efisiensi mesin stirling.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat melakukan aktifitasnya sehari-hari dalam skala rumah tangga. Optimasi biaya operasional yang mahal terutama bagi petani maupun pengusaha dalam skala kecil.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Matahari

2.1.1 Matahari dalam prespektif Al-Qur'an

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. Sehingga penelitian tentang bintang lebih mudah dari pada bintang lainnya. Matahari memiliki jarak 150 juta kilometer dari bumi, dan dia menyediakan energi yang dibutuhkan oleh kehidupan di bumi secara terus menerus (Mulyono, 2007).

Kata *syams* dalam al Qur'an disebut sebanyak 32 kali, semuanya dalam bentuk mufrod. Dalam buku *ensiklopedia Al Qur'an* kajian kosa kata yang disusun oleh tim penyusun yang diketuai oleh Prof. Dr. M. Quraish Shihab, MA ada beberapa definisi yang dikemukakan oleh para ahli *syams*. Diantaranya ibn faris mengartikan *syams* sebagai *Qillatustiqrar* yang berarti kurang mapan. Dikatakan demikian karena matahari tidak tetap dan selalu bergerak. Sedangkan Jamaluddin bin Mahran mengartikan *syams* sebagai *'ainush-shub* yang berarti mata pagi. *Syams* adaah sebuah mata dilangit yang berjalan pada garis edarnya dan cahayanya memancar di bumi. Sebagaimana telah kita ketahui bahwa matahari adalah sumber cahaya bagi makhluk-makhluk Allah yang berada di bumi, tanpa matahari bumi akan menjadi gelap gulita. Keberadaan matahari sangatlah penting untuk penduduk bumi sehingga Allah SWT mengabadikan dalam QS. Ibrahim: 33. Selain itu banyak ayat-

ayat dalam al Qur'an yang menyebutkan betapa pentingnya *syams* bagi kehidupan makhluk-makhluk bumi khususnya manusia.

Allah SWT menjelaskan kebesaran-Nya dengan menciptakan matahari sebagai salah satu sumber kehidupan makhluk hidup. Hal ini Allah jelaskan dalam ayat berikut:

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



“Dia-lah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan berahaya dan detetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu) Allah SWT tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda kebesaran-Nya kepada orang-orang yang mengetahui” (Qs. Yunus[10]5).

Menurut tafsir Ath-Thabari, Abu Ja'far berkata: sesungguhnya Tuhan kalian yang menciptakan langit dan bumi ini *“Dialah yang menjadikan matahari bersinar”* pada siang hari *“dan bulan bercahaya,”* pada malam hari. Artinya, *dialah yang memberikan sinar pada matahari dan cahaya kepada bulan* (Al-Bakri, 2009).

Menurut *Tafsir al-Qurthubi*, *“Dialah yang telah menjadikan matahari bersinar,”* adalah *maf'ul*. Yang meyinari sesuatu, dan bulan bercahaya, adalah *athaf* . artinya yang bercahaya (yang memantulkan sinar). Kata *dliya'* adalah bentuk jamak dari *dlo'un* (Al-Hifnawi, 2008).

Menurut *tafsir jalalin* dikatakan bahwasanya, *“Dialah yang menjadikan matahari bersinar”* (mempunyai sinar) *“dan bulan bercahaya, dan ditetapkan-Nya bagi bulan”* (dalam perjalanannya) *“manzilah-manzilah”* selama dua puluh delapan

malam untuk setiap bulan, setiap malam dari dua puluh delapan malam untuk setiap bulan, setiap malam dari dua puluh delapan malam itu memperoleh satu manzilah, kemudian tidak nampak selama dua puluh delapan malam, jika jumlah hari bulan yang bersangkutan tiga puluh hari. Atau tidak tampak selama satu malam jika ternyata jumlah hari bulan yang bersangkutan dua puluh sembilan hari (Abu Bakar, 2008).

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 bintang ataupun tumbuh-tumbuhan, dan Dialah yang menjadikan bulan bercahaya pada malam hari (as-Shiddieqy, 2000).

“Dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat)”, maksudnya, Allah menetapkannya dan menjadikannya lurus, sehingga tidak melewati garis edar tersebut (Al-Bakri, 2000).

Firman Allah SWT, “supaya kamu mengetahui bilangan (waktu).” Ibnu Abbas berkata, Apabila matahari ada dua satu untuk siang dan satu untuk malam, maka tidak akan ada malam dan kegelapan, dan tidak dapat pula diketahui bilangan tahun dan perhitungan bulan. Allah SWT tidak menciptakan semua itu kecuali dengan tujuan menunjukkan kebesaran ciptan-Nya yang sekaligus sebagai dalil mengenai kemampuan dan ilmu-Nya yang maha luas. Hal ini merupakan hikmah dan pelajaran bagi manusia, dan Allah akan membalas amal perbuatan manusia, itulah yang paling utama. Allah menjelaskan secara terperinci tanda-tanda kebesaran-Nya sebagai dalil atas kemampuan Allah SWT. Penghususan malam

dengan gelapnya dan siang dengan sinarnya, merupakan tanda bagi manusia bahwa hal itu adalah kehendak yang Maha berkehendak (Al-Hifnawi, 2008).

Maa khalaqallahu dzalika illaa bil haqqi (Allah tidak menjadikan yang demikian itu kecuali dengan benar). Allah tidak menjadikan matahari, makhluk yang mempunyai sinar dan melimpahkan sinarnya itu kepada bintang-bintang yang berada disekitarnya serta melimpahkan panasnya kepada semua makhluk yang hidup. Allah tidak menjadikan bulan bersinar yang mengambil sinarnya dari matahari dan Allah tidak menentukan jangka waktu perjalanan bulan dalam beberapa manzilah, melainkan semuanya itu berdasarkan hak yang disertai hikmah yang tinggi untuk hidup di dunia ini (Ash-Shiddieqy, 2000).

Yufash-shilul aayati li qaumiy ya'lamun = Allah menjelaskan ayat-ayat-Nya kepada kaum yang mengetahui. Allah menjelaskan semua Ayat-Nya, baik kekuasaan-Nya maupun ayat-ayat al Qur'an, kepada kaum yang mengetahui. Misalnya, bagaimana dalil-dalil itu menunjuk kepada subyek yang didalili dan yang mampu membedakan antara yang hak (benar) dan yang batil (as-Shiddieqy, 2000).

Allah SWT tidak menciptakan matahari dan bulan kecuali karena adanya satu hikmah yang agung dan pertanda yang jelas tentang keindahan ciptaan_Nya dan keagungan mahakarya-Nya. Dia Allah SWT menjelaskan bukti-bukti bagi kaum yang mengetahui tujuan-tujuan penciptaan dan pembentangan ayat-ayat tersebut (Al-Qarni, 2007).

Sebagaimana diketahui ahli fisika bahwa matahari bersinar karena matahari memiliki potensi sendiri dalam bentuk energi untuk semua keperluan di bumi. Allah SWT berfirman dalam surat Nuh ayat 16 yaitu:

Hal ini dipertegas dalam firman Allah SWT dalam surat an-Naba' ayat 13 yang berbunyi sebagai berikut :

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا ﴿١٣﴾

“Dan kami jadikan pelita yang amat terang (Matahari) (Qs An-naba’: 13)”.

Istilah *wahhaja*, berasal dari kata *wahaj* yang artinya “cahaya atau panas” yang berasal dari api. Kata dengan pengertian ‘terbakar dan terang’ digunakan untuk matahari, karena penjelasan sepasang karunia besar yang menjadi penampak seluruh materi dunia ini, yakni cahaya dan panas. Cahaya matahari tidak hanya berfungsi untuk menyinari lingkungan sekitar manusia dan seluruh sistem tata surya, tetapi juga sangat efektif untuk pertumbuhan makhluk hidup. Sedangkan panas matahari, selain berakibat langsung pada kelangsungan hidup manusia, hewan, dan tumbuhan. Ia juga penyebab utama keberadaan awan angin dan hujan yang dibutuhkan untuk membasahi tanah tanah kering. Selain itu sinar ultraviolet yang terkandung dalam cahaya matahari sangat berguna untuk membasmi kuman. Jika tidak demikian, generasi makhluk hidup akan lenyap dalam waktu singkat (Faqih, 2006).

M. Quraish Shihab juga mengatakan bahwa berkaitan dengan matahari, 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 diatas menamai matahari (*siraja*) *siraja/pelita* karena mengandung cahaya dan panas secara bersamaan (Quraish, 2002-11).

2.1.2 Matahari dalam Ilmu Fisika

Matahari merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan. Panas matahari menghangatkan bumi dan membentuk iklim, sedangkan cahayanya membuat siang hari terang dan dipakai oleh tumbuhan untuk fotosintesis. Tanpa matahari, tidak akan ada kehidupan di bumi karena banyak reaksi kimia yang tidak dapat berlangsung (Lang, 2006).

Diameter matahari sekitar 14×10^5 atau 109 kali diameter bumi. Massa matahari mencapai 333.400 kali masa bumi atau secara pendekatan $1,99 \times 10^{30}$ Kg. Dengan mengetahui ukuran dan massa matahari maka diperoleh densitas matahari rata-rata $1,41 \text{ g/cm}^3$ yang lebih rendah seperempat kali dibandingkan densitas bumi rata-rata (Tjasono, 2006).

Sebagaimana diketahui ahli fisika bahwa sinar matahari adalah sumber utama energi untuk semua keperluan di bumi. Dan panas yang disinarkannya maka terjadilah angin. Dari proses kimia yang rumit, energi sinar ini dirubah menjadi karbohidrat di tumbuhan, yang kemudian menjadi sumber energi bagi hewan dan manusia. Matahari terus memancarkan energi yang sangat besar jumlahnya. Dari sanalah timbul timbul pertanyaan: bagaimanakah matahari menghasilkan energi? Pertanyaan ini menantang ilmuwan selama hampir 150 tahun dan sampai kini, walaupun beberapa hal terungkap, akan tetapi jawaban secara tuntas belum terjawab dengan memuaskan. Pengungkapan jawaban ini memperlihatkan bahwa kegiatan sainsfik tampak seperti memecahkan *puzzle* yang dibuat Allah SWT Tuhan semesta Alam (Dyayady, 2008).

Pertanyaan diatas telah coba dijawab oleh banyak ilmuwan. Termasuk Herman Von Helmholtz, JR. Waterson, Charles Darwin, William Thompson, Lord Kelvin, Backquerel dan Einstein. Awalnya diduga bahwa energi di matahari bersumber dari gaya gravitasi matahari dan tubrukan meteorit-meteorit ke permukaanya. Hasil perhitungan kemudian menunjukkan bahwa kalau memang benar sumbernya adalah gravitasi, maka didapatkan umur matahari haruslah lebih pendek dari umur bumi (yang dihitung darwis atas dasar buatan yang ada di permukaan bumi) (Dyayady, 2008). Jawaban ini tentang kemungkinan sumber energi, muncul ketika keradioaktifan ditemukan oleh Henri Backuerel dan suami istri Curie. Bahwa tampak dari unsur keradioaktifan dalam jumlah yang kecil dapat memancarkan sejumlah energi besar. Masalah selanjutnya pada waktu yang diketahui bersifat radioaktif adalah unsur-unsur yang ditemukan di matahari adalah unsur hidrogen dan helium (Dyayady, 2008).

Perkembangan penting berikut adalah persamaan yang diturunkan Albert Einstein, $E=mc^2$ dan hasil pengamatan Aston bahwa massa 4 atom hidrogen lebih berat dari pada massa atom helium. Berdasarkan kedua hal ini, Arthur Eddington menghitung bahwa pembakaran hidrogen menghasilkan helium dan kehilangan 0,7% masa. Menurut hubungan massa energi Einstein, kehilangan massa ini kemudian diubah menjadi energi. Dari perkiraan massa hidrogen yang dihasilkan cukup membuat matahari bersinar 100 triliun tahun (Dyayady, 2008).

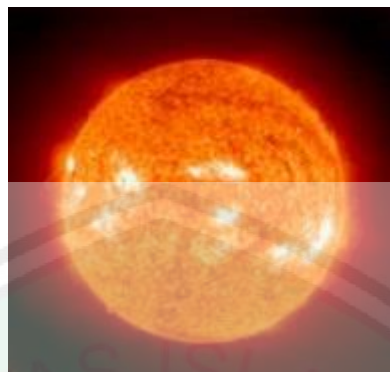
Misteri alam ciptaan Allah SWT ini diawali dengan pertanyaan: bagaimana matahari menghasilkan energi yang telah ada sejak pertengahan abad ke-19 dan mempengaruhi perkembangan teori evolusi (penentuan umur batuan bumi) dan

berbagai bidang lainnya? Jawaban awal pertanyaan ini dengan menganggap bahwa sumber energi adalah gravitasi, itu jawaban yang keliru. Barulah pada abad ke-19 ketika keradioaktifan ditemukan, maka sinar terang didapat. Teori relativitas (terutam $E=mc^2$) dan pengukuran massa inti hidrogen dan helium di wala abad ke-30 telah memuluskan jalan bagi jawaban yang benar. Kini masih perlu diungkap lebih alnjut tentang neutrino (Dyayady, 2008).

2.1.3 Energi surya

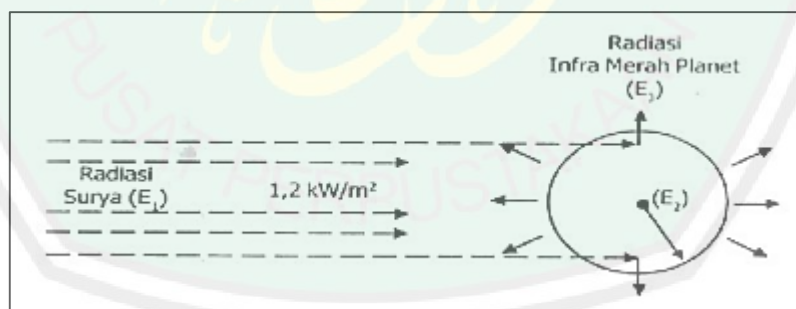
Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui perlatan tertentu menjadi sumeber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi. Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839 ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara (Suyitno, 2011).

Setiap menit matahari meradiasikan energi sebesar 56×10^{26} kalori. Energi matahari persatuan luas pada jarak jauh dari permukaan bola dengan matahari sebagai pusat bulatan dan jari-jari 150 juta KM (Tjasono, 2006).



Gambar 2.1 Matahari (Suyitno, 2011)

Matahari merupakan bintang yang istimewa dan mempunyai radius sejauh $6,96 \times 10^5$ km dan terletak sejauh $1,496 \times 10^8$ km dari bumi. Besar jumlah energi yang dikeluarkan oleh matahari sukar dibayangkan. Menurut salah satu perkiraan, inti sang surya merupakan suatu tungku termonuklir bersuhu 100 juta $^{\circ}\text{C}$ setiap detik mengkonversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luas sebanyak $6,41 \times 10^{26}$ W/m² (Suyitno, 2011).

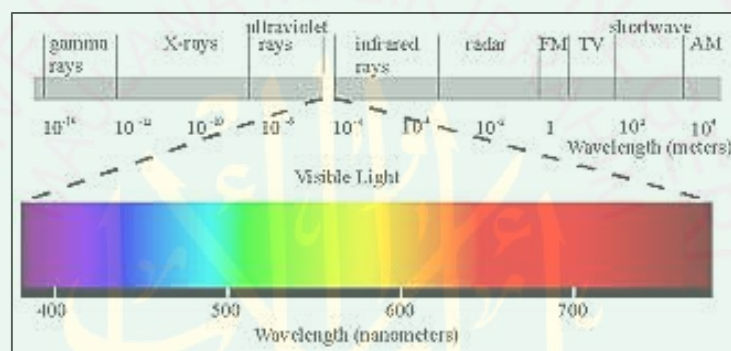


Gambar 2.2 Bumi Menerima Radiasi Surya Matahari (Suyitno, 2011)

Energi matahari dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa (vakum) dengan kecepatan 3×10^8 m/s dengan frekuensi sekitar 10^3 antara samapai 10^8 Hz. Karena kecepatan sama untuk berbagai frekuensi itu, panjang gelombang haruslah berbeda-beda sesuai dengan relasi

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang, v adalah kecepatan gelombang, dan f adalah frekuensi gelombang. Secara umum, gelombang elektromagnetik dapat dikelompokkan menjadi tujuh kelompok, yaitu gelombang radio, gelombang mikro, sinar infra merah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar-X, sinar- γ , seperti pada gambar 2.3 dibawah ini.



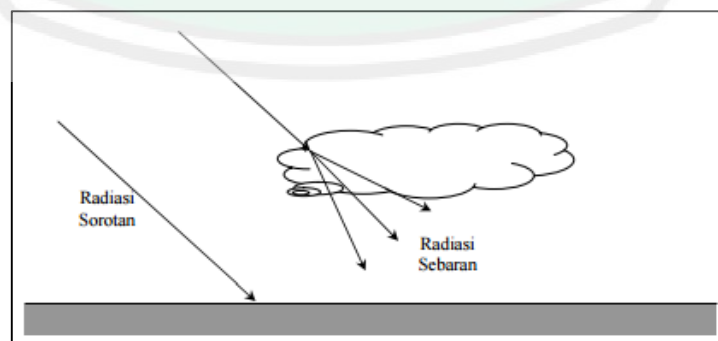
Gambar 2.3 spektrum frekuensi gelombang elektromagnetik (Asan, 2001)

Setiap benda yang ada di alam semesta ini secara kontinyu memancarkan atau menyerap energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Energi yang dipancarkan berasal dari energi internal yang diasosiasikan dengan gerakan atom dan molekul yang diikuti percepatan muatan-muatan listrik dalam suatu objek. Atom dan molekul yang berbentuk gas memiliki ikatan antar atom atau molekul yang sangat kecil (diabaikan) dapat memancarkan energi dalam bentuk garis-garis spektrum cahaya. Sedangkan pada zat padat dan cairan yang ikatan antar atom atau molekul sangat besar sehingga masing-masing atom atau molekul tidak dapat memancarkan spektrum energinya secara sendiri-sendiri sehingga energi yang dipancarkan sepenuhnya ditentukan oleh suhu objek tersebut (Asan, 2001).

2.1.4 Radiasi Matahari

Radiasi adalah suatu bentuk energi yang dipancarkan oleh setiap benda yang mempunyai suhu di atas nol mutlak dan merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di dalam vakum angkasa luar. Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet. Matahari setiap menit memancarkan energi sebesar 56×10^{26} kalori. Dari energi ini bumi menerima $2,55 \times 10^{18}$ kalori atau hanya $\frac{1}{2} \times 10^9$ nya (Prawiwardoyo, 1996).

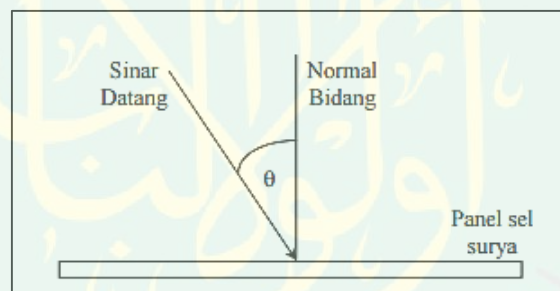
Radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbondioksida dan air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti terlihat pada gambar



Gambar 2.4 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi (Jansen, 1995)

Dengan adanya faktor-faktor di atas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi (Jansen, 1995).

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.5 arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel surya (Jansen, 1995)

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut θ seperti pada gambar di atas maka panel akan menerima radiasi lebih dengan faktor $\cos \theta$ (Jansen, 1995):

$$I_r = I_{r0} \cos \theta \quad (2.2)$$

Dimana I_r = Radiasi yang diserap panel

I_{r0} = Radiasi yang mengenai panel

θ = sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel.

Konversi satuan radiasi yang banyak digunakan (Woodward FI, Sheehy JE, 1983):

$$1 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1} = 1 \text{ W.m}^{-2}$$

$$10.000 \text{ foot-candle} = 350 \text{ W.m}^{-2}$$

$$1 \text{ foot-candle} = 10,76 \text{ lux}$$

$$1 \text{ lux} = 92,96 \times 10^{-3} \text{ foot-candle}$$

$$1 \text{ lux} = 3,252 \text{ mW.m}^{-2} = 0,003252 \text{ W.m}^{-2} \quad (2.3)$$

2.2 Teknologi Konversi Energi Matahari menjadi Energi panas

Panas matahari dapat digunakan untuk pemanasan ruangan dan pemanasan air. Alat yang digunakan sebagai penyerap atau pengumpul energi matahari itu disebut kolektor. Kolektor dapat berupa cermin cekung, lensa positif. Dan juga bahan yang mempunyai koefisien serapan yang tinggi seperti bahan yang mempunyai koefisien serapan yang tinggi seperti bahan-bahan yang mempunyai permukaan hitam atau berwarna gelap. Cermin cekung dan lensa positif bersifat mengumpulkan sinar di titik fokusnya. Dengan demikian, sinar atau cahaya yang terkumpul itu dapat digunakan untuk memanaskan air dengan menempatkan air yang akan dipanaskan pada posisi titik fokus cermin.

2.3 Perpindahan Panas

Bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur rendah, hingga tercapainya kesetimbangan termal. Proses perpindahan panas ini berlangsung dalam 3 mekanisme, yaitu: konduksi, konveks, dan radiasi.

2.3.1 Konduksi

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat yang padat yang dapat tembus cahaya. Konduksi penting dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat misalnya tergabung dalam konveksi dan radiasi.

Energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal (Giancolli, 2001):

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.4)$$

Pada umumnya bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api, energi akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkut kalor di dalam bahan menurut proses perpindahan kalor konduksi. Dengan demikian dalam proses pengangkutan kalor di dalam bahan, aliran elektron akan memainkan peranan penting (Koestur, 2002).

Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan hukum Fourier sebagai berikut:

$$q = -KA \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (2.5)$$

Dimana: q = Laju perpindahan panas (W)

K = Konduksi termal (W/m.K)

A = Luas penampang yang terletak pada aliran panas (m²)

$$\frac{dT}{dx} = \text{Gradien temperatur dalam arah aliran panas (K/m)}$$

Tanda (-) digunakan untuk menunjukkan bahwa arah perpindahan kalor bergerak dari daerah yang bertemperatur tinggi menuju daerah bertemperatur rendah.

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa besarnya laju perpindahan kalor juga ditentukan oleh konduktivitas termal (K) dari suatu bahan. Berikut adalah konduktivitas termal untuk beberapa bahan pada °C (Giancolli, 2001):

Tabel 2.1 Konduktivitas termal bahan (Giancolli, 2001: 502)

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

2.3.2 Konveksi

Konveksi adalah proses dimana kalor ditransfer dengan pergerakan molekul dari suatu tempat ke tempat lain. Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan persamaan pendinginan newton sebagai berikut (Koestur, 2002):

$$Q = h \cdot A (T_w - T_{\infty}) \quad (2.6)$$

Dimana: Q = laju perpindahan panas (watt)

h = koefisien perpindahan panas (watt/m²°C)

A = luasan perpindahan arah normal Q (m²)

T_w = temperatur permukaan benda (°C)

T_∞ = temperatur fluida (°C)

Ada dua mekanisme perpindahan panas secara konveksi, yaitu:

1. Konveksi alamiah

Perpindahan panas yang terjadi karena pengaruh gaya apung (*bouyancy effect*) yang disebabkan perbedaan *density* pada beberapa variasi temperatur fluida.

2. Konveksi paksa

Perpindahan panas yang terjadi karena adanya gaya luar yang bekerja, misalkan pompa, blower, fan, dan lain sebagainya. Perbedaan temperatur antara permukaan benda dan aliran fluida yang menimbulkan suatu daerah yang mempunyai variasi temperatur dari T_s pada $y=0$ ke W_∞ pada aliran paling luar. Lapisan ini disebut lapisan batas termal (Cengel, 2003).

2.3.3 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 perpindahan panas konduksi dan konveksi dengan perpindahan panas radiasi.

Pertukaran panas netto secara radiasi antara dua bahan ideal atau benda hitam adalah:

$$q = \sigma \cdot A \cdot (T_w^4 - T_c^4) \quad (2.7)$$

2.4 Mesin Stirling

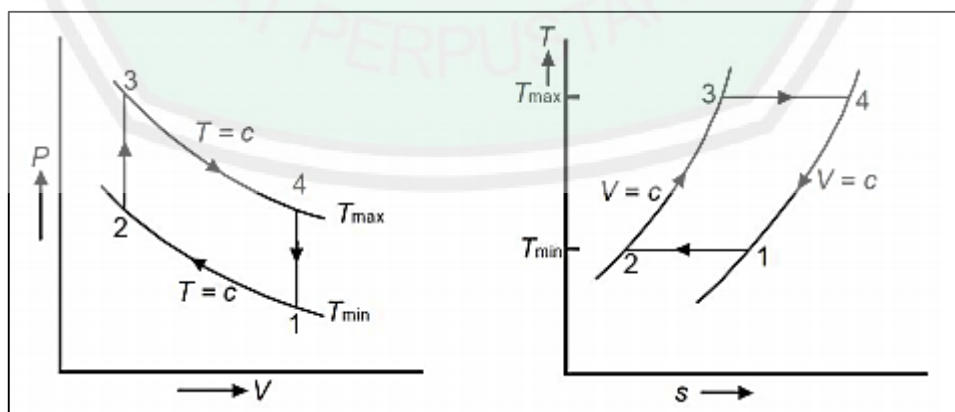
2.4.1 Sejarah penelitian mesin Stirling sebelumnya

Pada tanggal 27 September 1816 Robert Stirling mengajukan permohonan paten untuk *economiser* di Edinburgh Skotlandia. Perangkat ini dalam bentuk mesin terbalik, dan dimasukkan pergeseran fasa karakteristik antara displacer dan piston yang kita lihat dalam mesin Stirling saat ini. Mesin tersebut menampilkan siklus pemanasan dan pendinginan gas internal dengan menggunakan sumber panas eksternal, namun perangkat itu belum dikenal mesin Stirling. Nama itu diciptakan hampir seratus tahun kemudian oleh insinyur Belanda Rolf Meijer untuk menjelaskan seluruh jenis mesin siklus tertutup regeneratif (UK Stirling engine, 2007).

Mesin Stirling yang unik diantara mesin panas karena memiliki efisiensi yang sangat tinggi melebihi efisiensi Carnot, pada kenyataannya sama dengan maksimum teoritis efisiensi Carnot, karena mesin Stirling yang didukung oleh ekspansi (pemanasan) dan kontraksi (pendinginan) gas. Jumlah gas tetap di dalam mesin Stirling ditransfer bolak-balik antara akhir panas dan akhir yang dingin terus-menerus. Robert Stirling terus bekerja pada mesinnya sepanjang hidupnya. Pada 1820 dia bergabung bersama adiknya James, yang tujuannya untuk menunjukkan kontribusi tekanan gas internal untuk meningkatkan keluaran daya. Selanjutnya paten desain perbaikan diterapkan pada 1827 dan 1840 (UK Stirlingengine, 2007).

2.4.2 Siklus mesin Stirling

Prinsip kerja mesin stirling adalah memanfaatkan adanya perubahan tekanan dan volume pada gas dalam sistem tertutup. Gas pada sistem dikontakkan pada reservoir panas sehingga sistem menyerap panas. Panas yang dihasilkan disimpan di dalam sebuah regenerator. 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 gas penggerak 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 dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan menghubungkannya ke turbin.



Gambar 2.6 Siklus mesin Stirling pada daigram PV dan TS (Vineeth, 2008)

Dalam siklus mesin Stirling berlaku 2 fase yaitu 2 proses isothermal dan 2 proses isokhorik. Dua proses terakhir terjadi dengan bantuan regenerator untuk membuat siklus ini reversibel. Diagram PV dan TS siklus ini ditunjukkan pada gambar 2.6 Siklus Stirling terdiri atas empat tahap termodinamika antara lain (Dayus, 2002):

1. Poin 1-2, Kompresi Isotermal.

Udara berekspansi secara isothermal, pada temperatur konstan T_1 dari v_1 ke v_2 . Kalor yang diberikan sumber eksternal diserap selama proses. Kerja yang dilakukan selama proses 1-2:

$$W_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv = mRT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.8)$$

2. Poin 2-3, Isokhorik.

Udara lewat melalui regenerator dan didinginkan pada volume konstan ke temperatur T_3 . Pada proses ini kalor dibuang ke generator. Kerja yang dilakukan selama proses 2-3:

$$\begin{aligned} W_{2-3} &= - \int_2^3 du \\ &= - mc_v \int_{T_2}^{T_3} dT \\ &= - mc_v (T_2 - T_3) \\ &= mc_v (T_3 - T_2) \end{aligned} \quad (2.9)$$

3. Poin 3-4, Ekspansi Isotermal.

Udara dikompresi secara isothermal di dalam tabung dari V_3 ke V_4 . Lagi kalor dibuang oleh udara. Kerja yang dilakukan selama proses 3-4:

$$W_{3-4} = \int_{v_3}^{v_4} p \, dv = mRT \ln \frac{v_4}{v_3} \quad (2.10)$$

4. Poin 4-1, Isokhorik.

Udara dipanaskan pada volume konstan ke temperatur T_1 dengan melewati udara ke regenerator dalam arah yang berlawanan dengan proses 2-3. Pada proses ini kalor diserap oleh udara dari regenerator. Kerja yang dilakukan selama proses 4-1:

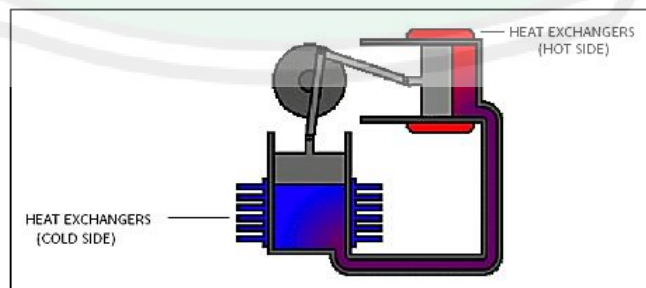
$$\begin{aligned}
 W_{4-1} &= - \int_4^1 du \\
 &= mc_v \int_{T_4}^{T_1} dT \\
 &= - mc_v (T_4 - T_1) \\
 &= - mc_v (T_3 - T_2)
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Sehingga kerja total sistem adalah:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1} \\
 W_{\text{total}} &= mRT \ln \frac{v_2}{v_1} + mc_v (T_3 - T_2) + mRT \ln \frac{v_4}{v_3} - mc_v (T_3 - T_2) \\
 W_{\text{total}} &= mRT_{12} \ln \frac{v_2}{v_1} + mRT_{34} \ln \frac{v_4}{v_3}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

2.5 Bagian-bagian Mesin Stirling

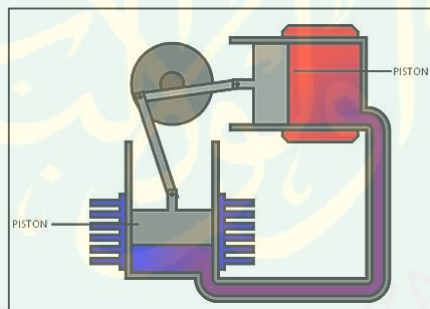
2.5.1 Heat Exchanger



Gambar 2.7 Heat exchanger (Vineeth, 2008)

Silinder dari mesin stirling dijaga suhu (panas) sementara bagian lainnya tetap dijaga pada suhu rendah (dingin). Penukar panas yang digunakan untuk mencapai hal ini yaitu perangkat yang membantu dalam pertukaran panas dari satu medium ke medium lainnya. Di penghujung panas panas dari sumber ditransfer ke silinder, sementara di penghujung dingin panas dari silinder ditransfer ke atmosfer. Mesin Stirling yang langsung dipanaskan tidak memiliki penukar panas yang signifikan. Udara dingin mesin Stirling biasanya memiliki penukar panas sederhana sementara pada air dingin mesin Stirling yang memiliki penukar panas yang lebih kompleks (Vineeth, 2008).

2.5.2 Piston

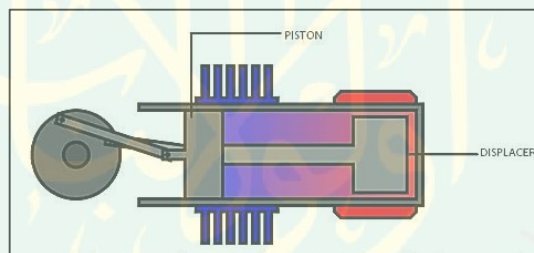


Gambar 2.8 Piston pada tipe gamma terpisah dalam ruang yang berbeda (Vineeth, 2008)

Piston adalah anggota geser yang dapat bergerak dari satu ujung ekstrim dari silinder ke ujung ekstrim yang lain, biasa disebut sebagai pusat mati. Biasanya gerakan piston bervariasi volume dalam silinder sejak fluida kerja tidak melarikan diri melalui *clearance* antara piston dan antarmuka silinder. Piston dari mesin Stirling adalah identik dengan yang hadir di mesin mobil. Hal ini tekanan gas yang bekerja pada piston, yang diturunkan sebagai output kerja mesin (Vineeth, 2008)

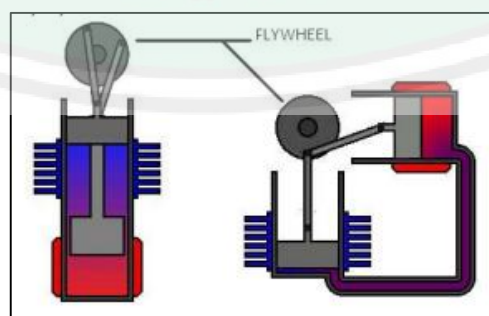
2.5.3 Displacer

Displacer adalah bagian dari mesin Stirling yang bergeser geser menyerupai piston tapi berbeda dengan displacer, silinder jauh lebih besar. Hal ini memungkinkan untuk fluida kerja untuk dialirkan dengan mudah melalui ruang. karena seperti yang dapat kita bayangkan, pergerakan displacer tidak kompresi gas atau menyebabkan gas lebih luas (ekspansi), maka pergerakan displacer tidak menyebabkan volume silinder berubah. gaya tekanan gas yang bekerja pada displacer akan diabaikan dibandingkan dengan pada piston karena kebanyakan dari gas keluar melalui ruang ke sisi tekanan rendah (Vineeth, 2008).



Gambar 2.9 Displacer pada mesin Stirling tipe beta (Vineeth, 2008)

2.5.4 Flayweel



Gambar 2.10 Flayweel pada mesin Stirling tipe beta dan gamma (Vineeth, 2008)

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 (Satyadarma, 2005):

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.13)$$

$$I = \frac{1}{8} m r^2 \quad (2.14)$$

Dimana I adalah momen inersia roda gila terhadap sumbu putarnya

ω adalah kecepatan putar (RPM)

m adalah massa partikel

r adalah jarak tegak lurus dari sumbu roda gila

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

2.6 Jenis-jenis Mesin Stirling

Mesin Stirling adalah sebuah mesin panas yang beroperasi secara kompresi siklik (berulang-ulang) dan melalui pemuatan udara atau gas (gaya fluida), pada tingkat suhu yang berbeda sehingga ada konversi energi panas menjadi energi mekanik (termodinamika) (Vineeth, 2008).

Mesin Stirling didefinisikan sebagai mesin regenerasi udara panas siklus tertutup. Dalam konteks ini, siklus tertutup berarti bahwa fluida kerjanya secara permanen terkurung di dalam sistem. Mesin Stirling disebut juga mesin udara dengan model mesin pembakaran luar siklus tertutup.

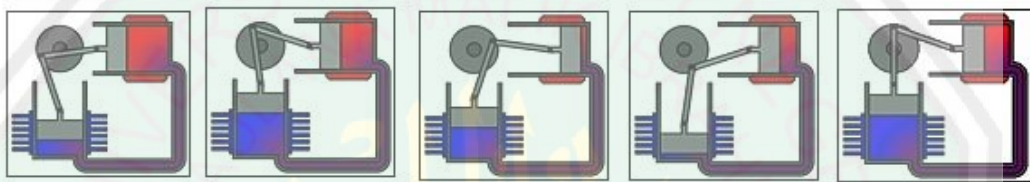
Seperti mesin uap, mesin Stirling secara tradisional diklasifikasikan sebagai mesin pembakaran eksternal, seperti transfer panas dari tabung pembakaran (tabung yang dibakar dari luar). Ini berbeda dengan mesin pembakaran internal, dimana masukan panas didapatkan dari pembakaran bahan bakar didalam tabung pembakaran. Tidak seperti mesin uap (atau biasa disebut sebuah siklus *rankine engine*) penggunaan zat cair dan gas, digunakan untuk menghasilkan gaya mekanik, mesin Stirling didesain sedemikian rupa agar jumlah gas tetap secara permanen.

Mesin Stirling bekerja karena adanya ekspansi gas ketika dipanaskan dan diikuti kompresi gas ketika didinginkan. Mesin itu 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 kontraksi gas. Piston yang berpindah disebut sebagai regenerator yang dapat membangkitkan kembali udara. Mesin Stirling memiliki 3 tipe, yaitu mesin Stirling tipe alfa, beta dan gamma.

2.6.1 Mesin Stirling Tipe Alfa

Mesin Stirling Alfa berisi kekuatan dua piston dalam silinder yang terpisah, satu berada didingin dan satunya berada dipanas. 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. Dalam prakteknya, piston ini biasanya membawa isolasi yang cukup besar untuk bergerak jauh dari zona panas dengan mengorbankan beberapa ruang mati tambahan (Reynolds: 1996)



Gambar 2.11 Skema kerja Mesin Stirling jenis alfa (Reynolds, 1996)

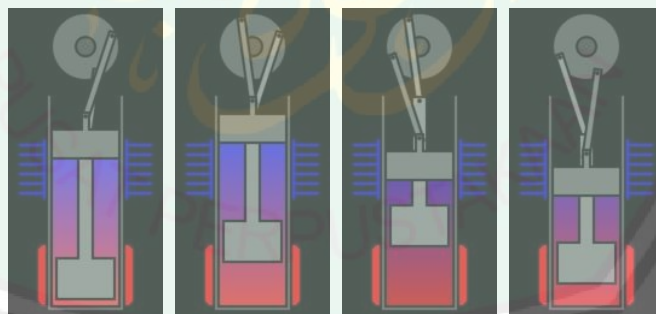
Langkah-langkah mesin Stirling Alfa:

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 didalam silinder panas mulai bergerak, dan sebagian besar gas panas masuk ke dalam silinder dingin, di mana 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 di mana gas ini akan dipanaskan sekali lagi, dan memberikan lagi kekuatan pada piston untuk mendorong piston panas.

2.6.2 Mesin Stirling Tipe Beta

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. Ketika silinder dipanaskan gas mendorong dan memberikan piston kekuatan. Ketika piston terdorong ke dingin (titik bawah) silinder mendapat momentum dari mesin, dan ditingkatkan dengan roda gila. Tidak seperti jenis Alfa, jenis beta tidak akan menyebabkan isolator (pipa pemisah jika dalam bentuk Alfa) menjadi panas.



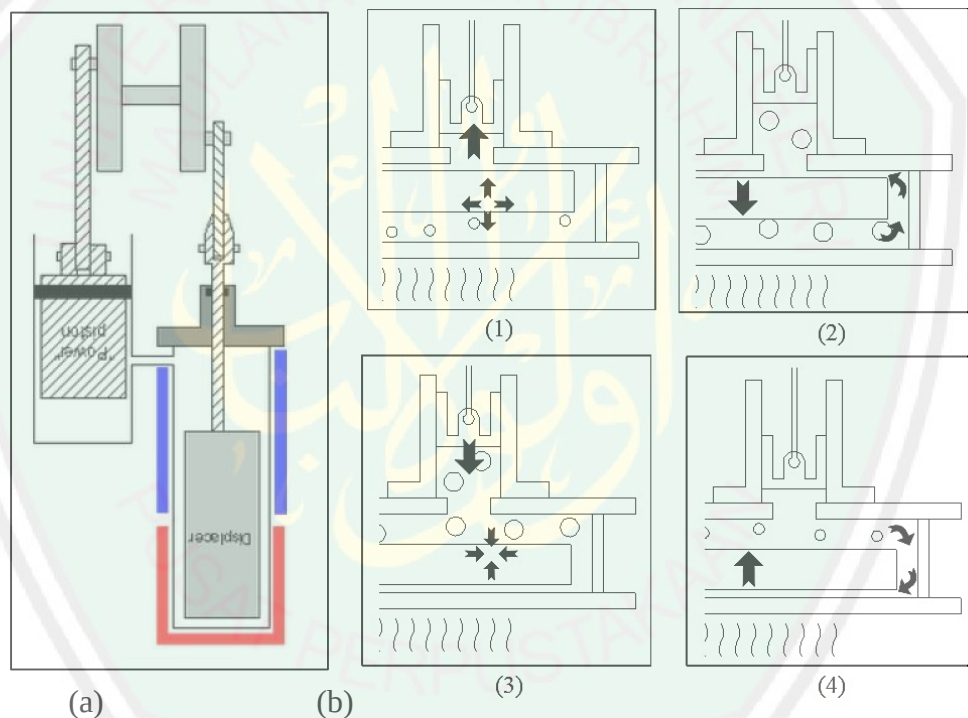
Gambar 2.12 Siklus Mesin Stirling Beta (Vineeth, 2008)

Siklus mesin Stirling tipe beta sebagai berikut:

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.

2.6.3 Mesin Stirling Tipe Gamma



Gambar 2.13 (a) mesin Stirling tipe gamma (b) Siklus mesin Stirling tipe Gamma (Vineeth, 2008)

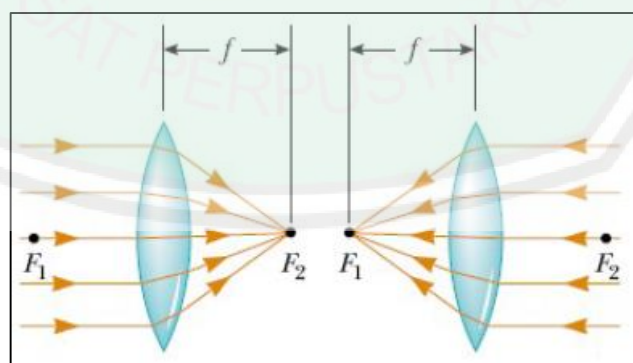
Mesin stirling tipe gamma mirip dengan sebuah mesin Stirling beta, pada mesin Stirling jenis ini piston tenaga terpasang di dalam silinder yang terpisah di samping silinder piston displacer, tapi masih terhubung ke roda gila yang sama. Gas dalam dua silinder dapat mengalir bebas karena mereka berada dalam satu ruang. Konfigurasi ini menghasilkan rasio kompresi lebih rendah, tetapi secara mekanis

lebih sederhana dan sering digunakan di dalam mesin Stirling multi-silinder (Vineeth, 2008).

Langkah-langkah mesin Stirling tipe gamma (Vineeth, 2008):

1. Kompresi Isotermal, Transfer fluida kerja dari sisi dingin ke sisi panas. Fluida dalam silinder setelah dipanaskan memuai sehingga dapat mendorong piston daya ke atas.
2. Isokhorik, momentum roda gila membawa displacer ke bawah, mentransfer gas hangat ke atas, akhirnya ruang dingin silinder.
3. Ekspansi isotermal, sebagian besar gas yang berada dalam ruang dingin. gas menyusut, menggambarkan power piston ke bawah dan proses transfer fluida kerja dari sisi dingin ke sisi panas.
4. Isokhorik, momentum roda gila membawa displacer naik keatas, mentransfer gas yang menyusut kembali ke bawah ruang panas silinder.

2.7 Lensa dan Prinsip Pembiasan



Gambar 2.14 Titik fokus pertama dan kedua dari sebuah lensa konvergen tipis (Tipler, 1991)

Sebuah jenis lensa yang jenisnya diperhatikan pada gambar 2.17 di atas mempunyai sifat bahwa bila seberkas sinar yang paralel dengan sumbu melalui

lensa itu, maka berkas sinar itu berkumpul ke sebuah titik F2 dan membentuk sebuah bayangan nyata dititik tersebut. Lensa seperti itu dinamakan sebuah lensa pengumpul (lensa konfergen, *converging lens*).

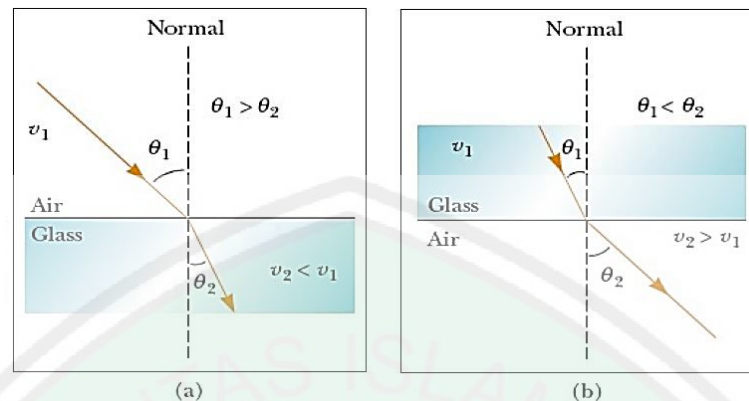
Demikian juga, sinar-sinar yang lewat melalui titik F1 muncul keluar dari lensa itu sebagai seberkas sinar paralel. Titik F1 dan F2 dinamakan titik fokus pertama dan titik fokus kedua, dan jarak f (yang diukur dari pusat lensa itu) dinamakan panjang fokus. Oleh karena itu Jarak fokus lensa cembung positif (+) sehingga kuat lensa cembung bernilai positif. Rumus-rumus yng berlaku untuk lensa sebagai berikt (+) (Zemansky, 2004):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (2.15)$$

dan perbesaran linier

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \quad (2.16)$$

Ketika seberkas cahaya mengenai permukaan suatu benda, maka cahaya tersebut ada yang dipantulkan dan ada yang di teruskan. Jika benda tersebut transparan seperti air, maka sebagian cahaya yang diteruskan terlihat dibelokkan atau lebih dikenal dengan pembiasan. Cahaya yang melalui batas antara dua medium dengan kerapatan optik yang berbeda, kecepatannya akan berubah. Perubahan kecepatan cahaya mengalami pembiasan (Tipler, 1991).



Gambar 2.15 Pembiasan cahaya pada medium yang berbeda (Tipler, 1991).

Pada gambar 2.15 di atas, jika sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat (misalnya dari udara ke air/kaca), maka sinar dibelokkan mendekati garis normal (gambar a). Sebaliknya, sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat (misalnya dari air/kaca ke udara), maka sinar dibelokkan menjauhi garis normal (gambar b).

Pembiasan (*Refraction*) cahaya adalah peristiwa pembelokan cahaya ketika cahaya mengenai bidang batas antara dua medium memenuhi hukum snellius:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.17)$$

Dimana: n_1 = indeks bias medium tempat cahaya datang

n_2 = indeks bias medium tempat cahaya bias

θ_1 = sudut datang , θ_2 = sudut bias

Perambatan cahaya dalam ruang hampa udara memiliki kelajuan c , kemudian setelah memasuki medium tertentu akan berubah kelajuannya menjadi v dengan $v \ll c$. Ketika cahaya merambat di dalam suatu bahan, kelajuannya akan turun sebesar suatu faktor yang ditentukan oleh karakteristik bahan yang dinamakan indeks bias (n). Indeks bias merupakan perbandingan antara kelajuan cahaya di

ruang hampa terhadap kelajuan cahaya di dalam bahan, seperti yang dinyatakan oleh:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.18)$$

Dimana: n = indeks bias

v = kelajuan cahaya di ruang hampa (m/s)

c = kelajuan cahaya di bahan (m/s)

Tabel 2.2 di bawah menunjukkan harga-harga indeks bias beberapa bahan terhadap vakum untuk panjang gelombang natrium 589Å (supramono, 2005).

Tabel 2.2 Indeks bias (Refraksi) Zat/Bahan (Supramono, 2005)

Medium	Indeks Bias
Air	1,33
Gliserin	1,47
Bensin	1,50
Minyak goreng	1,47
Etil Alkohol	1,36
Karbonbisulfida	1,63
Udara	1,00
Metilin ionisasi	1,74
Leburan kuarsa	1,46
Gelas/Kaca krona	1,52
Gelas/Kaca flinta	1,66
Natrium Klorida	1,53

2.8 Unjuk Kerja Mesin Stirling

Unjuk kerja mesin Stirling dapat ditunjukkan dengan beberapa parameter yang bisa menjadi tolak ukur dari kinerja mesin Stirling tersebut seperti Torsi, daya dan efisiensi yang dihasilkan selama pengujian.

2.8.1 Daya mesin Stirling (P_o)

Daya yang dihasilkan pada mesin stirling merupakan kerja output dari siklus stirling selaras dengan kecepatan putar mesin per detik. Daya yang diukur dalam Mesin Stirling Adalah daya poros. Daya poros merupakan besarnya momen putar (torsi) dikalikan dengan kecepatana anguler (w) sehingga, daya poros dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Colin R,1986):

$$P = T w$$

Karena $T = \frac{2 \pi N}{60}$, maka rumus daya poros pada mesin Stirling dapat dirumuskan kembali sebagai berikut:

$$P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60} \quad (2.19)$$

dimana: P = Daya poros (Watt)

N = Putaran poros engkol (RPM)

T = Torsi (Nm)

Daya poros diketahui dari pengukuran torsimeter digunakan untuk mengukur momen putar dan tachometer.

2.8.2 Daya masukan mesin (P_i)

Daya masukan mesin adalah daya radiasi matahari dimana mesin menerima intensitas radiasi tiap satuan permukaan luas (Colin R, 1986):

$$S = I = \frac{P}{A} ; \text{ atau } P = I \times A \quad (2.20)$$

Dimana S = Intensitas gelombang = laju rata-rata energi per m^2 (W/m^2)

I = Intensitas radiasi (W/m^2)

P = Daya radiasi (Watt)

A = Luas permukaan mesin (m^2)

2.8.3 Torsi (Momen Putar/Gaya)

Momen gaya/Torsi didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dengan titik ke garis kerja gaya pada arah tegak lurus. Dari gambar di bawah, maka besarnya momen gaya adalah :

$$\tau = r \times F \quad (2.21)$$

$$\tau = F r \sin \theta \quad (2.22)$$

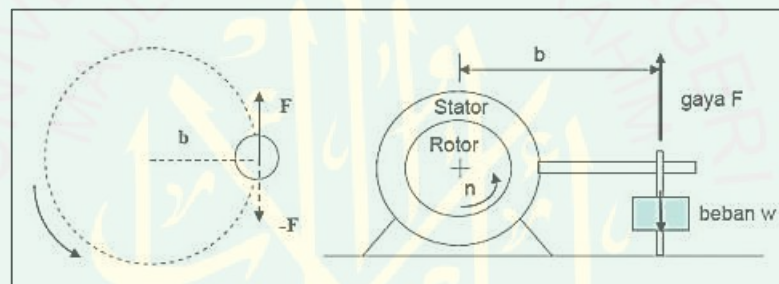
Dimana τ adalah momen gaya (N.m)

F adalah gaya yang bekerja (N)

R adalah jarak atau lengan (m)

Jika kita mendorong pintu dekat dengan engsel, maka torsi mengecil dan akan menghasilkan putaran pintu yang kecil pula. Bahkan jika $r=0$, yaitu kita mendorong pintu pada engselnya, pintu sama sekali tidak akan berputar sebab torsi bernilai 0. Demikian juga jika sudut dibuat mengecil, maka torsi juga mengecil, bahkan jika $\theta=0$, yaitu jika kita mendorong pintu sejajar dengan engsel (bukan tegak lurus), maka tentu saja pintu tidak akan berputar.

Pada mesin sebenarnya pembebanan adalah komponen-komponen mesin sendiri yaitu asesoris mesin (pompa air, pompa pelumas, kipas radiator), generator listrik (pengisian aki, listrik penerangan, penyalan busi), gesekan mesin dan komponen lainnya. Dari perhitungan torsi di atas dapat diketahui jumlah energi yang dihasilkan mesin pada poros. Jumlah energi yang dihasilkan mesin setiap waktunya adalah yang disebut dengan daya mesin. Kalau energi yang diukur pada poros mesin dayanya disebut daya poros.



Gambar 2.16 Prinsip Dinamometer (Halliday, 1991)

2.8.4 Kecepatan Sudut (rpm)

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 (Nugroho, 2012).

Kecepatan suatu benda umumnya ditentukan oleh kecepatan sudutnya. Untuk menghitung atribut ini, posisi awal suatu benda biasanya dikurangi dari posisi akhir. Jumlah yang dihitung kemudian dibagi dengan waktu untuk

mendapatkan dari satu tempat ke tempat lain. Kecepatan sudut, oleh karena itu, biasanya diukur sebagai perjalanan sepanjang lingkaran dalam periode waktu tertentu. Derajat, putaran, atau satuan lingkaran disebut radian perjalanan setiap detik dapat dihitung, pengukuran juga disebut kecepatan anguler. RPM (Rotation Per Minute) adalah kemampuan kecepatan putaran dari motor.

2.8.5 Efisiensi

Efisiensi keluaran maksimum didefinisikan sebagai presentase keluaran daya output optimum terhadap energi yang digunakan, yang dituliskan sebagai (Muhammad, 2011):

$$\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}} \quad (2.3)$$

Dimana η = Efisiensi

P_{out} = Daya keluaran/ 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 memperoleh desain Mesin Stirling tipe gamma dalam bentuk prototype menggunakan lensa air sebagai pemfokus cahaya matahari sebagai sumber panas mesin, sekaligus bagaimana karakterisasi unjuk kerjanya.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Juni 2016. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan 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 penelitian ini adalah:

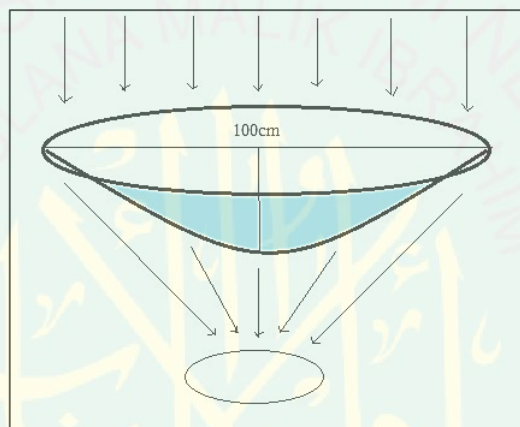
1. Pipa silinder (*heater*) stainless steel
2. Karpet/Spons (bahan isolator) displacer
3. Aluminium (*piston*)
4. Aluminium (*Cooler*)
5. Aluminium (*piston power*)
6. Besi (*connecting rod piston power*)
7. Stainless (*connecting rod displacer*)
8. Bore connecting rod displacer

9. Pin road
10. Plat besi (penyangga kruk as)
11. Teflon (kruk as)
12. Stank piston (*Connecting rod*)
13. Compact disk (Roda gila)
14. Air
15. Plastik transparan
16. Besi (penyangga lensa)
17. Cermin datar
18. Lem
19. Cat hitam
20. Benang
21. *Stopwatch* XL-009B
22. *Thermokopel*
23. *Luxmeter* Lutron LX-107
24. Multimeter Digital Peak Tech 2010 DMM 2 buah
25. *Tachometer laser*
26. Neraca pegas Phywe 03065-02 1 N dan 03065-03 2 N

3.4. Desain Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan desain rangkaian alat sekaligus desain penelitian yang terdiri dari 3 desain pembuatan alat yang dapat digambarkan sebagaimana gambar berikut:

3.4.1 Lensa air (pemfokus cahaya matahari)

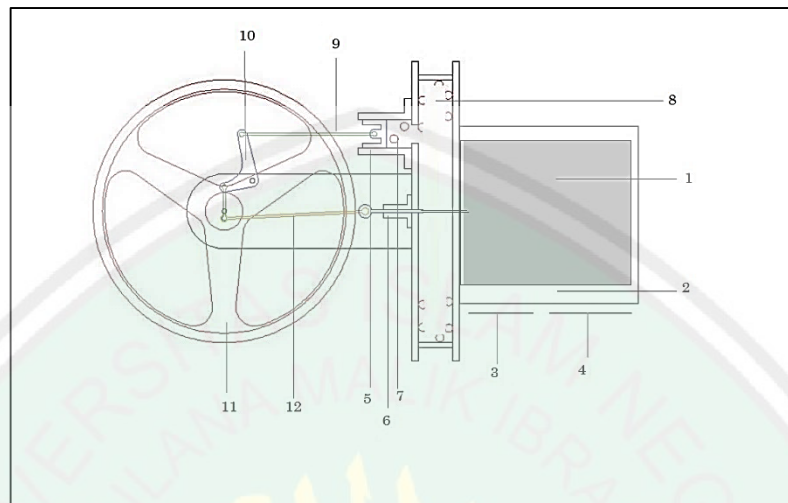


Gambar 3.1 Skema pemfokus matahari menggunakan lensa air

Keterangan :

1. Plastik transparan yang berfungsi sebagai transmitter cahaya yang direfraksikan oleh medium air.
2. Air yang berfungsi sebagai lensa atau pengumpul cahaya matahari dengan diameter permukaan 100 cm.
3. Hot workspace pada mesin stirling tipe gamma.

3.4.2 Mesin Stirling tipe gamma



Gambar 3.2 mesin Stirling tipe gamma

Keterangan:

1. Piston displacer (busa spon) dan alas setrika yang ditumpuk $d=9,5$ cm dan $t=4$ cm.
2. Silinder displacer dengan $d=10,5$ cm dan $t=9$ cm didalamnya Displacer, didesain lebih kecil dari pada silinder pipa yang berfungsi untuk antar jemput gas panas dari silinder panas ke silinder dingin
3. Ruang dingin (*cold chamber*) mesin
4. Ruang panas (*hot chamber*) mesin
5. Silinder power berbahan kuningan tahan panas (licin), dengan $d=3,5$ cm dan $t=2,5$ cm.
6. Bose rod displacer dengan $p=15$ cm.
7. Piston power berbahan alumunium dengan $d=2,2$ cm dan $t=3$ cm
8. Penutup silinder $d=22$ cm dan $t=0,5$ cm.
9. Connecting rod piston power $p=9,5$ cm.

10. Kruk as (kawat jeruji) $p=12$ cm
11. Roda gila (*Flywheel*) $d=12$ cm.
12. Connecting rod piston displacer $p=15$ cm.

3.4.3 Penyangga lensa (desain keseluruhan)



Gambar 3.2 Skema mesin stirling tipe gamma menggunakan konsentrator (lensa air)

Keterangan:

1. Lensa air sebagai pemfokus cahaya matahari
2. Penyangga lensa (besi) untuk mengatur tinggi lensa untuk menghasilkan fokus cahaya
3. Mesin Stirling tipe gamma

4. Cermin datar berfungsi sebagai pemantul sisa cahaya matahari yang kurang pas tepat di permukaan ruang panas mesin akibat pergeseran sudut matahari.
5. Penyangga mesin Stirling.

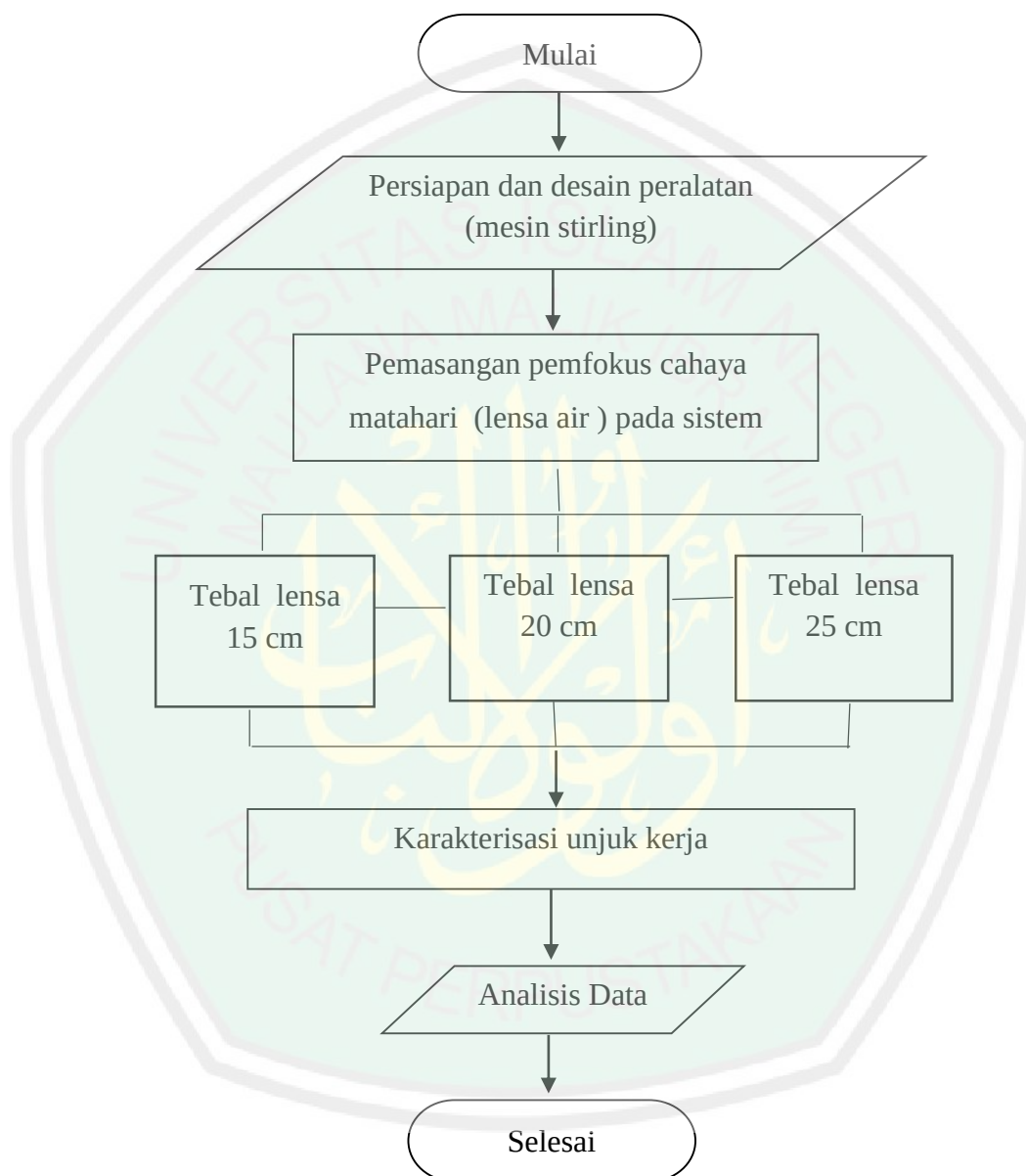
3.5. Teknik perancangan alat

Untuk tahap perancangan mesin Stirling tipe gamma pada mesin penghalus bahan pangan, yaitu:

1. Dibuat silinder berdiameter 10,5 cm dan tinggi 9 cm yang terbuat dari heater aluminium.
2. Diletakkan displacer dalam silinder dengan ukuran lebih kecil dari diameter 10 cm silinder yang berfungsi untuk antar jemput gas panas dari silinder panas ke silinder dingin yang terbuat dari (bahan isolator).
3. Dibuat isolasi termal diantara dinding silinder panas dan dingin sebagai pemisah kedua ujung silinder.
4. Pada dinding silinder dipasang sirip yang terbuat dari pipa aluminium yang berisi air untuk menjaga suhu pada ruang dingin terjaga kestabilannya.
5. Dibuat bose road displacer dari baut besi dengan tinggi 2,5 cm yang berfungsi sebagai alur connecting road dengan tabung displacer.
6. Dibuat silinder power dari bahan kuningan yang tahan panas dan licin, dengan $d=2,5$ cm dan tinggi 6 cm sebagai tempat piston power.
7. Dipasang piston daya yang terbuat dari aluminium di dalam silinder bagian atas dengan $t=3$ cm dan $d=2,2$ cm
8. Dibuat connecting rod power dari bahan besi dengan $t=8$ cm sebagai penghubung antara poros dan piston power.

9. Dibuat bode silinder dari bahan alumunium sengan $d=6,5$ cm dan tebal=2,5 cm. Berfungsi untuk menempel silinder power dengan plat penutup
10. Dihubungkan piston daya dan displacer dengan connecting rod yang berbeda ke roda gila (*Flywheel*) $d=12$ cm.
11. Dipasang poros pada roda gila agar moment inersianya stabil.
12. Diletakkan konsentrator yang terbuat dari lensa air berbentuk cembung variasi tebal lensa 15 cm, 20 cm, dan 25 cm lihat gambar 3.1 di atas silinder dengan ruang panas sebagai pemfokus cahaya matahari.

3.5. Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.4 Alur Penelitian

3.5 Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data untuk menganalisis unjuk kerja mesin Stirling dengan memanfaatkan pemfokus cahaya matahari (lensa air) sebagai sumber panas mesin Stirling tipe gamma dilakukan dengan cara merangkai terlebih dahulu

rancangan alat seperti pada gambar 3.3 kemudian menambahkan lensa air seperti pada gambar 3.1 yang memiliki berdiameter permukaan 100 cm diletakkan diatas mesin Stirling. Variabel uji yang digunakan meliputi nilai suhu panas dan dingin pada silinder mesin Stirling pada ruang panas dan dingin menggunakan termokopel. Intensitas cahaya matahari diukur menggunakan luxmeter, dan diukur pula nilai rpm, torsi, mesin Stirling. Variabel tersebut nantinya akan mempengaruhi kinerja mesin stirling.

Proses pengambilan data berupa suhu (panas dan dingin), intensitas cahaya matahari yang dilakukan mulai pukul 09.00 WIB hingga pukul 14.00 WIB setiap 15 menit sekali. Pada kurun waktu tersebut diharapkan radiasi matahari dalam keadaan maksimal.

Tabel 3.1 Pengukuran hasil penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 15 cm.

Waktu	T (°C)		I (Lux)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
09:00						
09:15						
09:30						
09:45						
10:00						
10:15						
10:30						
10:45						
11:00						
11:15						
11:30						
11:45						
12:00						
12:15						
12:30						
.....						
14:00						

Tabel 3.2 Pengukuran hasil penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 20 cm.

Waktu	T (°C)		I (Lux)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
09:00						
09:15						
09:30						
09:45						
10:00						
10:15						
10:30						
10:45						
11:00						
11:15						
11:30						
11:45						
12:00						
12:15						
.....						
14:00						

Tabel 3.3 Pengukuran hasil penelitian menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 25 cm.

Waktu	T (°C)		I (Lux)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
09:00						
09:15						
09:30						
09:45						
10:00						
10:15						
10:30						
10:45						
11:00						
11:15						
11:30						
11:45						
12:00						
12:15						
12:30						
.....						
14:00						

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

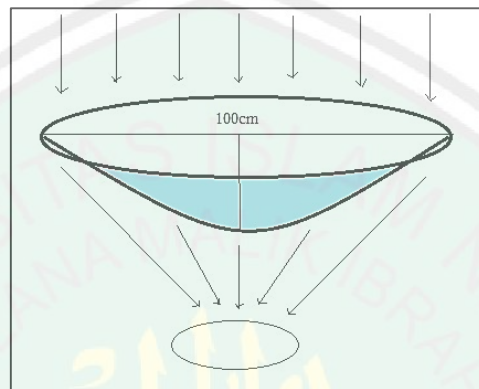
Penelitian ini bertujuan memanfaatkan panas matahari sebagai energi alternatif menggunakan mesin Stirling tipe gama untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Penelitian ini dilakukan di ruang terbuka karena membutuhkan sumber cahaya matahari secara langsung. Tujuan secara khusus dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi tebal lensa terhadap fokus sinar matahari yang diterima mesin, dan pengaruh beda suhu panas dan dingin (ΔT) terhadap rpm serta efisiensi mesin Stirling. Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi suhu silinder mesin (ruang panas dan ruang dingin), intensitas radiasi matahari sebelum dan setelah difokuskan oleh lensa air, torsi, dan rpm mesin Stirling.

4.1.1 Pembuatan Alat

Pembuatan alat konversi energi panas menjadi energi mekanik ini memiliki beberapa tahap perancangan, yaitu: perancangan penyangga lensa air, lensa air (cembung datar), dan mesin Stirling tipe gama. Untuk tahap perancangan penyangga lensa air digunakan besi yang dibentuk seperti rusuk sebuah kubus yang bertujuan agar lebih mudah meletakkan lensa air dan dapat mengatur ketinggian lensa dengan mudah.

Tahap selanjutnya, yaitu: perancangan lensa air yang terbuat dari plastik transparan yang dibentuk menyerupai mangkuk cekung memiliki diameter permukaan 100 cm dengan variasi tebal lensa yaitu 15 cm 20 cm 25 cm. Kemudian lensa cembung datar (plan konveks) ini diisi air tawar hingga penuh mencapai

permukaan lensa sehingga tampak seperti lensa cembung datar. Pada penelitian ini penggunaan tiga variasi tebal lensa bertujuan untuk mengetahui pengaruh panas matahari yang diterima mesin Stirling sebagai sumber energinya.



Gambar 4.1 Lensa air

Air merupakan medium yang dapat merefraksikan cahaya. Sedangkan plastik bening merupakan benda transparan yang dapat mentransmisikan cahaya matahari. Sehingga perbedaan indeks bias udara dan air menyebabkan cahaya yang ditransmisikan melewati medium air mengalami pembelokan. Sesuai dengan (Tipler, 1991) ketika seberkas cahaya mengenai suatu benda, maka cahaya tersebut ada yang dipantulkan dan diteruskan. Jika benda tersebut transparan seperti air, maka sebagian cahaya yang diteruskan terlihat dibelokkan (dibiaskan). Dalam penelitian ini cahaya yang diterima lensa melewati dua medium yang berbeda yaitu udara dan air. Sesuai dengan (Tipler, 1991) cahaya yang melalui batas antara dua medium dengan kerapatan optik yang berbeda (dalam penelitian ini udara dan air) maka kecepatannya akan berubah. Perubahan kecepatan cahaya inilah mengalami pembiasan. Kemudian cahaya yang mengalami pembelokan akan ditransmisikan oleh plastik sehingga menghasilkan fokus cahaya yang lebih besar.

Tujuan pemfokus cahaya matahari menggunakan lensa air dalam penelitian ini diharapkan mampu menambah penguatan cahaya matahari yang diterima oleh *hot air chamber* mesin Stirling dengan cara memanaskan di bawah sinar matahari langsung. Lensa merupakan alat optik yang bersifat merefraksikan cahaya. pada penelitian ini prinsip lensa air yang digunakan adalah prinsip pemfokusan yang dihasilkan oleh lensa cembung datar (plan konveks).

Titik fokus yang dihasilkan oleh lensa air ditentukan melalui rumus:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s'} + \frac{1}{s} \quad (\text{Zemansky, 2004}). \text{ dalam hal ini jarak antara matahari dengan lensa (S)}$$

diasumsikan memiliki nilai tak hingga (∞) sehingga jarak bayangan yang dihasilkan sama dengan jarak fokus cahaya tersebut. Jarak bayangan dapat diartikan sebagai berkas sinar yang dibelokkan oleh lensa air tersebut. Jarak fokus dapat dicari dengan mengatur tinggi rendahnya lensa air hingga ditemukan fokus cahaya pada *hot chamber* Mesin Stirling.

Tahap yang terakhir, yaitu: perancangan mesin Stirling tipe gamma dengan struktur material dan spesifikasi sebagai berikut:

4.1 Material yang digunakan dalam mesin Stirling yaitu:

No	Komponen	Material
1	Silinder displacer	Stainles steel
2	Piston displacer	Spon busa
3	Silinder power	Kuningan
4	Piston power	aluminium
5	Connecting rod	Besi
6	Flywheel	Compact Disk
7	Penutup pipa silinder	Plat besi
8	Kruk as	Teflon

Tabel 4.2 Spesifikasi Mesin Stirling tipe Gamma

Panjang Silinder Displacer	900 mm
Diameter Silinder Displacer	105 mm
Panjang Silinder Piston Power	35 mm
Diameter Silinder Piston Power	25 mm
Diameter silinder power	250 mm
Tinggi silinder power	60 mm
Panjang <i>Cruck as</i>	40 mm
Diameter <i>Cruck as</i>	35 mm
Panjang piston Displacer	40 mm
Diameter piston Displacer	95 mm
Panjang Piston Power	25 mm
Tinggi Piston Power	60 mm
Diameter Piston Power	22 mm
Panjang Connecting rod piston power	80 mm
Connecting rod displacer	210 mm
Bearing 608	150 mm
Diameter <i>Bose silinder</i>	65 mm
Tebal <i>Bose silinder</i>	25 mm
Diameter <i>hot dan cold air Chamber</i>	105 mm
Panjang <i>Cold air Chamber</i>	45 mm
Panjang <i>hot air Chamber</i>	45 mm
Jari jari flying wheel	120 mm
Tebal flying wheel	4 mm
<i>Bose road displacer</i>	250 mm
Diameter Penutup silinder displacer	220 mm

4.1.2 Unjuk Kerja Alat

Desain alat ini dirancang memanfaatkan energi matahari yang dikonversikan menjadi energi mekanik. Radiasi matahari mengenai lensa air (plan konveks) yang bertujuan untuk memfokuskan cahaya matahari agar tepat pada ruang panas mesin Stirling dan mendapatkan penguatan cahaya matahari yang lebih besar, sehingga *hot chamber* mesin Stirling (Alumunium/ heater bekas) diharapkan dapat menyerap panas secara maksimal dan menyimpan dalam waktu yang cukup lama. Dari diameter permukaan lensa air 100 cm yang kemudian difokuskan hingga diameter cahaya/panas matahari sampai di permukaan ruang panas mesin

diameternya menjadi 5 cm lihat (lampiran 5). Dibawah mesin Stirling diletakkan cermin datar yang bertujuan untuk memantulkan kembali dari sisa-sisa cahaya yang tidak tepat jatuh pada permukaan ruang panas mesin Stirling karena pergeseran sudut matahari yang menyebabkan fokus cahaya matahari juga bergeser.

Kemudian setelah ruang panas dikenai cahaya matahari yang telah difokuskan menghasilkan perbesaran rata-rata berbeda-beda sesuai dengan tebal lensa yang digunakan (lihat lampiran.3), mesin Stirling bekerja berdasarkan perbedaan suhu panas dan dingin. Ruang panas membuat fluida dalam ruang berekspansi dan mendorong piston sehingga menghasilkan tenaga putar, displacer ikut bergerak mendesak udara dingin ke ruang panas sehingga suhu menurun lagi. Akibat suhu turun maka fluida dalam ruang akan menyusut dan membuat piston tertarik lagi. Karena ada sumber panas dari luar maka udara ini kembali panas dan siklus akan berjalan terus hingga pada batas durasi mesin sesuai dengan desainnya.

Perubahan massa dan volume fluida (udara) dalam ruang menyebabkan naik turunnya piston. Karena panas berpindah dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah sesuai dengan teori perpindahan panas (Giancolli, 2011) bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang memiliki temperatur yang lebih tinggi ke benda yang bertemperatur rendah. Sehingga menghasilkan tenaga bolak-balik yang kemudian diubah menjadi energi gerak (mekanik) dari gerakan memutar roda gila (*flying wheel*). Tenaga yang dihasilkan oleh mesin bergantung pada diameter piston yang dipakai, namun diameter piston dan jarak langkah (*stroke*) harus disesuaikan dengan ruang silinder panas yang dipakai.

4.1.3 Perhitungan unjuk kerja mesin Stirling tipe gama

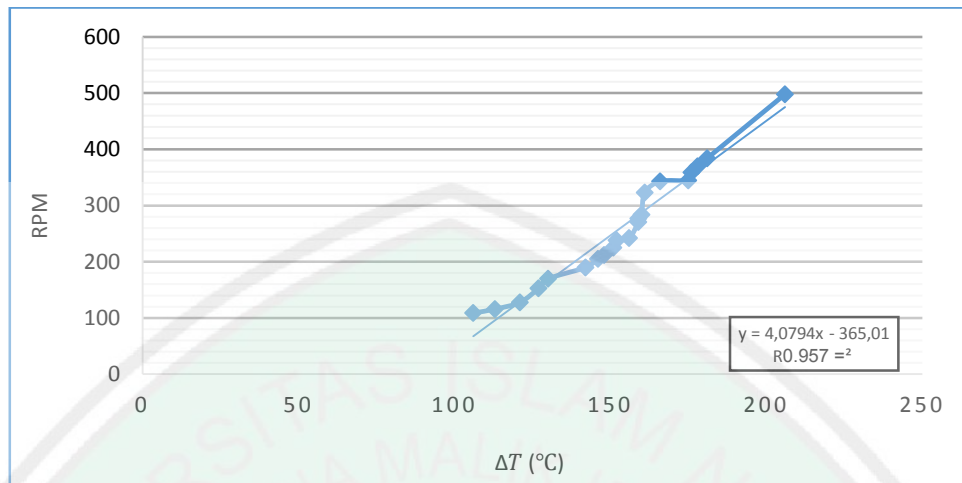
Tabel. 4.3 Perbandingan parameter unjuk kerja mesin dengan penggunaan tebal lensa yang berbeda

Parameter-parameter	Tebal lensa 15 cm	Tebal lensa 20 cm	Tebal lensa 25 cm
Beda suhu (°C)	153	151	174
rpm	259	362	471
Torsi (Nm)	0.002	0.002	0.002
Penguatan cahaya – matahari (kali)	1.85	2.0	2.4
Daya masukan (Watt)	10.83	12.3	13.87
Daya keluaran (Watt)	0.45	0.7	0.85
Energi (J)	1.04	1.85	3.08
Efisiensi (%)	4.37	5.46	6.07

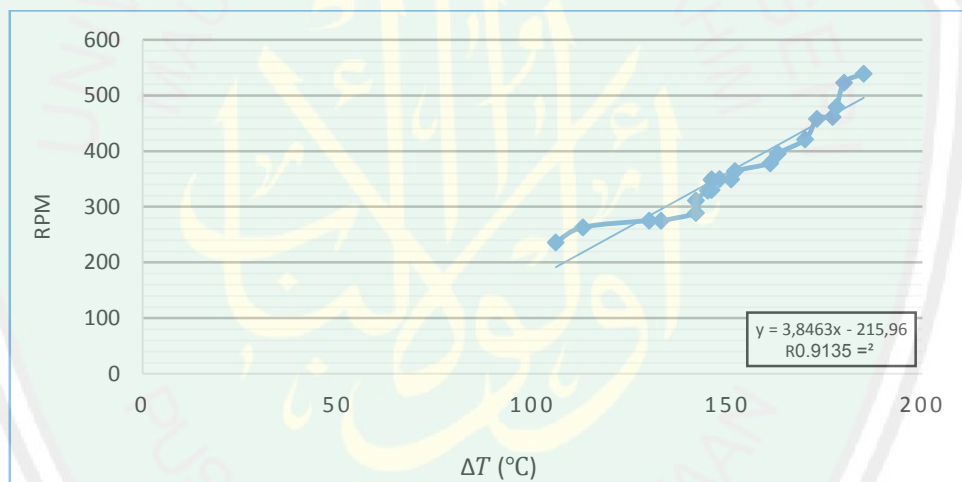
Tabel 4.2 menunjukkan bahwa penggunaan pemfokus cahaya matahari dengan tebal lensa 25 cm lebih efisien dan optimal. Hal ini dikarenakan daya masukan dan daya keluaran semakin tinggi sehingga tingkat efisiensinya lebih tinggi. Daya masukan berupa daya radiasi matahari dan daya keluaran adalah daya poros mesin Stirling. Dimana keduanya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima dan rpm mesin Stirling.

4.1.4 Hubungan antara beda suhu (ruang panas dan dingin) mesin Stirling dengan rpm

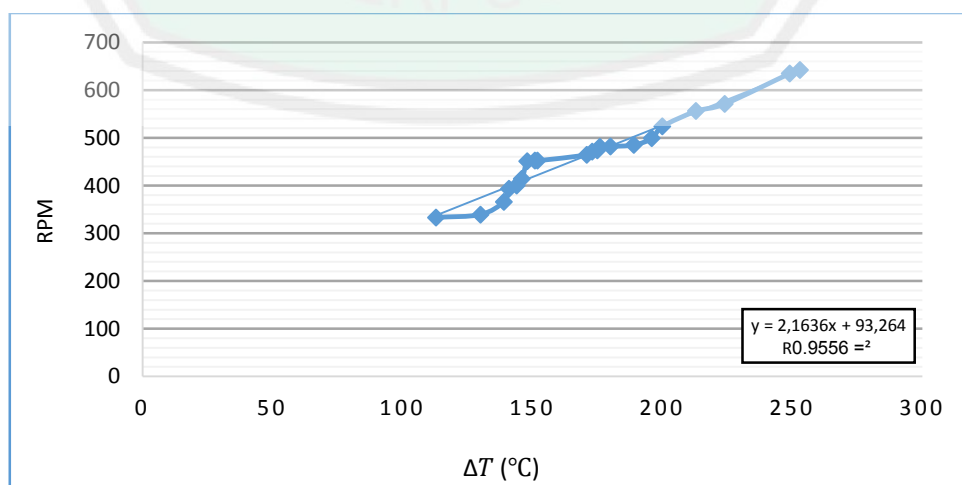
Beda suhu (ruang panas dan dingin) mesin Stirling berpengaruh terhadap kecepatan putar mesin Stirling (rpm). Semakin tinggi nilai beda suhu pipa silinder mesin Stirling maka kecepatan putar (rpm) mesin juga akan semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada grafik gambar 4.2 – 4.4.



4.2 Grafik pengaruh ΔT pada rpm mesin Stirling menggunakan tebal lensa 15 cm



4.3 Grafik pengaruh ΔT pada rpm mesin Stirling menggunakan tebal lensa 20 cm



4.4 Grafik pengaruh ΔT pada rpm mesin Stirling menggunakan tebal lensa 25 cm

Korelasi antara beda suhu (ΔT) pipa silinder mesin dan kecepatan mesin Stirling (rpm) dapat disajikan pada gambar grafik 4.2-4.4 menggunakan tebal lensa 15 cm, gambar 4.5 menggunakan tebal lensa 20 cm dan gambar 4.6 menggunakan tebal lensa 25cm sebagai pemfokus intensitas cahaya matahari sebagai sumber panas mesin Stirling. Maka antara beda suhu (ΔT) dengan kecepatan putar mesin (rpm) terkorelasi linier dan koefisien relasi masing-masing adalah 0,95, 0,91, 0,95. Beda suhu maksimum untuk menggerakkan mesin membutuhkan 100 °C.

Dari ketiga gambar grafik di atas bahwa kenaikan nilai beda suhu (ΔT) dapat berpengaruh pada kenaikan nilai rpm mesin. Hal ini dikarenakan mesin Stirling dapat bekerja karena adanya ekspansi atau pemuaian udara dan kompresi ketika didinginkan di dalam pipa silinder mesin. Akibat pengaruh suhu semakin tinggi maka semakin tinggi pula tekanan sehingga dapat berpengaruh pada sejumlah gas yang berada dalam pipa dipindahkan dari ruang panas ke ruang dingin secara (berulang-ulang) sehingga terjadi pergerakan piston power dan piston silinder yang terhubung pada roda mesin.

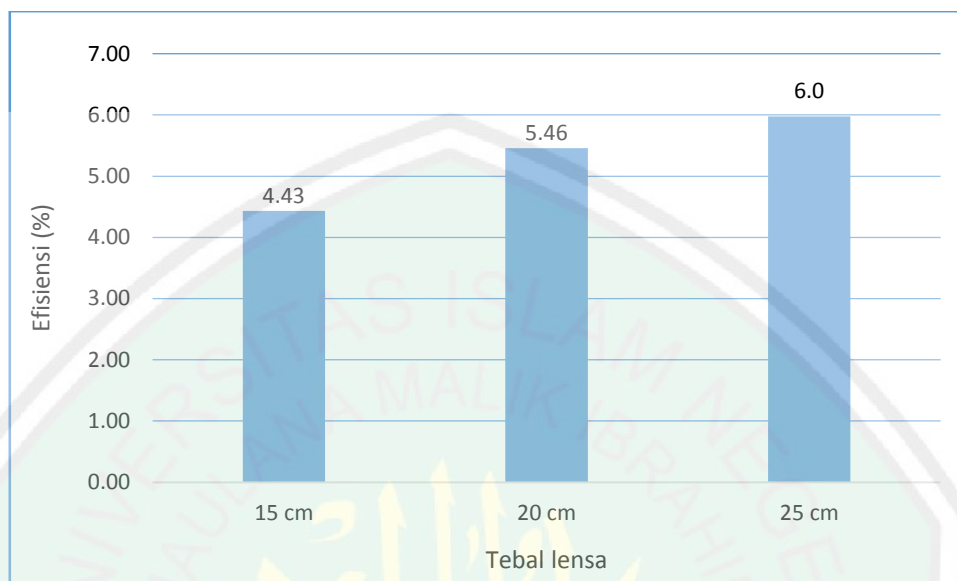
Dapat kita simpulkan bahwasanya semakin tinggi beda suhu silinder panas dan dingin mesin Stirling dapat mempengaruhi kecepatan putar flywheel pada mesin. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu yang diterima oleh *hot chamber* mesin Stirling maka proses pemuaian fluida kerja di dalam silinder mesin akan semakin cepat proses piston mengangkat keatas dan ketika piston sampai di ruang dingin udara kembali menyusut sehingga piston kembali pada ruang panas keadaan sebelumnya. Begitu seterusnya jika semakin cepat atau tinggi suhu maka kecepatan putar *flywheel* mesin akan semakin cepat berputar.

4.1.5 Penguatan intensitas cahaya matahari

Intensitas radiasi matahari sebelum dan setelah melewati lensa dengan variasi tebal lensa (15 cm, 20, dan 25 cm) mengalami penguatan intensitas tertentu. Oleh karena lensa air yang digunakan merupakan lensa cembung datar yang memiliki sifat memfokuskan cahaya matahari sesuai dengan (Zemansky, 2004) bahwa titik fokus lensa cembung berada di depan lensa (bernilai positif) sehingga bersifat mengumpulkan cahaya/lensa pengumpul, maka dari itu intensitas cahaya matahari mengalami beberapa kali perbesaran dari intensitas (semula) yang diterima lensa dengan luas permukaan lensa 785 cm^2 menjadi $19,6 \text{ cm}^2$ (setelah difokuskan). Penguatan intensitas radiasi matahari berturut-turut 1.85 kali, 2.0 kali, dan 2.4 kali sehingga rata-rata penguatan intensitas cahaya matahari mencapai 2,0 kali perbesaran dari intensitas semula (sebelum melewati lensa air).

Penguatan Intensitas radiasi matahari setelah melewati lensa air dapat mempengaruhi kecepatan putar *flywheel* mesin Stirling. Hal ini disebabkan karena, semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan ruang panas mesin akan mengakibatkan fluida kerja di dalam silinder mesin semakin cepat memuai sehingga masa yang tetap dalam silinder dengan pengaruh panas yang tinggi maka volume fluida kerja akan bertambah sehingga massa jenis fluida akan turun. Hal ini akan mengakibatkan piston displacer akan terangkat ke atas lebih cepat dan kembali ke bawah ketika fluida kembali menyusut karena pengaruh suhu dingin dalam silinder mesin Stirling.

4.1.6 Efisiensi Mesin Stirling



Gambar 4.5 Efisiensi mesin Stirling selama penelitian

Gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa besar efisiensi mesin Stirling mengalami perubahan yang tidak menentu. Terjadi kenaikan dan penurunan yang kurang signifikan. Pada grafik diatas diperoleh nilai efisiensi rata-rata pada data hasil penelitian menggunakan tebal lensa dengan (15 cm, 20 cm, 25 cm) berturut-turut 4.43%, 5.46%, dan 6.0%.

4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja Mesin Stirling

4.2.1 Suhu Lingkungan

Suhu lingkungan merupakan suhu diluar sistem yang dipengaruhi oleh cuaca, kelembaban udara, dan letak geografis. Suhu lingkungan merupakan faktor relatif yang tidak dapat dikendalikan. Hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari tidak konstan. Dapat disebabkan oleh laju angin yang tidak menentu sehingga perubahan suhu lingkungan berubah-ubah. Namun perubahan ini relatif

rendah karena faktor kenaikan intensitas radiasi matahari. Selain faktor laju angin, perubahan suhu juga disebabkan oleh cuaca yang tidak menentu.

4.2.2 Absorbsivitas Termal

Tingkat absorbsivitas termal sangat mempengaruhi kecepatan putar (RPM) roda gila mesin Stirling. Penyerapan panas yang tinggi menunjukkan bahwa desain mesin Stirling cukup efektif dalam menghasilkan energi panas. Absorbsivitas 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, fokus cahaya yang dihasilkan lensa air dimana semakin luas permukaan lensa akan semakin banyak menerima atau menangkap panas matahari sehingga penguatan intensitas panas matahari setelah difokuskan juga akan semakin meningkat, suhu lingkungan 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, suhu panas dan dingin mesin Stirling dan intensitas radiasi matahari yang diterima mesin Stirling. Peningkatan beda suhu dapat dilihat pada tabel lampiran 2.

Besarnya intensitas radiasi matahari merupakan faktor utama yang mempengaruhi peningkatan suhu panas dan dingin mesin Stirling. Intensitas radiasi matahari yang tinggi akan menghasilkan energi panas yang besar pula. Radiasi matahari inilah yang menjadi sumber panas mesin Stirling untuk dikonversi

menjadi energi mekanik. Peningkatan intensitas radiasi matahari selama penelitian dapat dilihat pada lampiran 3.

4.3 Pemanfatan cahaya matahari sebagai sumber energi dalam prespektif al Quran

Al Qur'an telah memberikan gambaran secara jelas bahwa cahaya matahari memberikan manfaat yang luar biasa besar. Semua yang terkandung di dalamnya ditunjukkan bagi manusia agar digunakan untuk sebesar-besar kemakmuran masyarakat. Namun sayang, masyarakat belum menaruh perhatian yang cukup besar untuk memanfaatkannya, yaitu sebagai pembangkit energi listrik. Terlebih dahulu ke dalam energi gerak kemudian diteruskan menjadi energi listrik. Menjadi sebuah kewajiban bagi kita bangsa Indonesia untuk mensyukuri, menjaga dan melestarikan segenap nikmat yang telah Allah SWT berikan kepada kita, yaitu sinar matahari yang tak pernah habisnya. Salah satu cara yang dapat ditempuh yaitu dengan memanfaatkannya sebagai pembangkit energi listrik, yang harapannya dapat digunakan untuk mensejahterakan bangsa Indonesia agar dapat menjadi umat yang terbaik, *khayran ummah, the best and chosen society*.

Meneliti dan memikirkan segala ciptaan Allah SWT merupakan suatu anjuran bagi manusia terutama kaum muslimin yang berlandaskan al-Qur'an. Karena dalam setiap ciptaan Allah SWT akan menemukan keunikan dan keserasian dalam ciptaannya. Allah SWT juga menganjurkan manusia untuk berfikir dengan adil (bijak) dimuka bumi ini, karena manusia adalah khalifah/ pemimpin. Jika manusia hanya berfikir untuk kepentingan sendiri dan tak memperhitungkan akibat maupun manfaat jangka panjangnya dari perbuatannya maka dapat dipastikan

muka bumi ini akan rusak karena tidak seimbang. Manusia memiliki tanggung jawab dalam melestarikan dan menjaga alam. Karena Allah memberikan karunia berupa akal yang terus menerus dapat belajar dan tuntunan yang dibawa nabi dan rasul-Nya. Oleh karena itu, sebagai manusia yang bijak patutlah kita sebagai manusia dan kaum muslimin bersyukur dengan tidak menyia-nyiakan akal yang telah diberikan kepada kita dan berlaku adil di muka bumi ini sesuai dengan apa yang telah diperintahkan Allah SWT, sebagaimana firman Allah dalam al Qur'an:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾
“sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal (Qs. Al-Imran [3] 190)”

Pada ayat ini terdapat anjuran kepada manusia untuk memikirkan ciptaannya, memperhatikan dengan seksama tanda-tandanya dan merenungkan proses penciptaannya, Allah SWT menyebut secara umum firmannya (آيَاتٍ) tanda-tanda dan tidak berfirman menurut kepentingan seseorang, yang berindikasi kepada banyaknya dan keumumannya. Yang demikian itu karena mengandung tanda-tanda yang menakjubkan dan membuat kagum orang-orang yang memandangnya dan memuaskan orang-orang yang memikirkannya.

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

"orang-orang yang mengingat Allah SWT sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi

(seraya berkata) *'ya tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau maka peliharalah kami dari siksa neraka (Qs. Al-Imran [3]191)*

Ayat tersebut diatas jelas bahwa Allah SWT memerintahkan kita untuk memikirkan proses kejadian alam semesta dan berbagai fenomena yang ada di dalamnya. Sehingga mendapatkan manfaat dari padaya dan teringat atau mengingatkan kita pada sang pencipta alam, Allah SWT. Baik ketika duduk, berdiri, maupun berbaring. Karena segala yang diciptakan Allah di dalam semesta tidaklah sia-sia. Dalam ayat al-Qur'an tersebut di atas juga terdapat isyarat ilmu pengetahuan yang perlu digali oleh manusia. Isyarat ilmu pengetahuan itu masih bersifat global sehingga memerlukan kesungguhan manusia untuk meneliti atau melakukan eksperimen, penelitian, pengamatan atau observasi segala fenomena yang ada di alam semesta ini yakni matahari, bulan, bintang dan semua yang ada di jagad raya ini untuk dapat meningkatkan isi kandungannya. Sehingga mendapat manfaat dari padaya dan teringat atau mengingatkan kita kepada sang pencipta alam Allah SWT.

Dalam al-Qur'an dijelaskan bahwa matahari merupakan *wahhaj* yang berarti cahaya dan panas. Karena sifat dari matahari selain memancarkan cahayanya juga energi termalnya. Energi matahari yang dikirim ke bumi dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetis yang sampai ke bumi dalam bentuk panas. Salah satu manfaat yang dapat diambil dari energi matahari dalam penelitian ini adalah dengan memanfaatkan energi termal dan radiasi cahaya. Energi termal dari cahaya matahari yang dipancarkan ke permukaan bumi dapat dikonversi menjadi energi lain. Hal ini sesuai dengan hukum kekekalan energi yang berbunyi bahwa energi tidak dapat

diciptakan dan dimusnahkan akan tetapi energi dapat diubah bentuknya dari energi satu menjadi energi yang lain. Seperti halnya pada penelitian ini, yaitu konversi energi surya menjadi energi mekanik.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Beda suhu (ΔT) ruang panas dan dingin mesin mempengaruhi kecepatan putar (rpm) mesin Stirling. Antara Beda suhu (ΔT) sipinder dispacer mesin dengan kecepatan putar (rpm) mesin Stirling berkorelasi linier, koefisien relasi masing-masing adalah 0,95, 0,91 dan 0,95. Hal ini berdasarkan data yang diperoleh beda suhu (ΔT) maksimal mesin menghasilkan 253°C kecepatan putar mesin mencapai 642 rpm.
2. Lensa air (plan koneksi), bersifat memfokuskan cahaya sehingga dapat mempengaruhi penguatan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *hot chamber* mesin Stirling. Untuk penguatan lensa air yang permukaannya memiliki diameter 100 cm dengan variasi tebal lensa (15 cm, 20 cm, dan 25 cm) menghasilkan penguatan berturut-turut 1.85 kali, 2,0 kali, dan 2.4 kali.
3. Efisiensi mesin Stirling menggunakan pemfokus cahaya matahari dengan ketebalan lensa 15 cm, 20 cm, 25, berturut-turut 4,37%, 5,46% dan 6,07%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan lampu halogen agar dapat memperoleh intensitas konstan dan dapat diatur.
2. Jarak (tinggi penyangga lensa) sesuai dengan letak fokus lensa.
3. Plastik yang tahan terhadap panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar. T.Th sl Kifayah Fi Ilm Ar Riwayah cet.1. Cairo: Dar Al Kutub Al Haditsah.
- Al Hifnawi. 2008. Al Jami' Al Ahkam Tafsir Al Qur'an jilid III. Jakarta: Pustaka Azam.
- Al-Mahalli, Imam Jalaluddin dan As-Suyuti. 2009. *Tafsir Jalalain berikut Asbabun Nuzul Ayat Surat Al-Kahfi s.d. An-Nas Jilid 2*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Al-Qarni, 'Aidh. 2007. *Tafsir Muyassar Jilid 4 jus 24-30*. Jakarta: Qisthi Press.
- As Shiddieqy, 2002, Al Bayan: Tafsir penjelasan al Qur'anul karim. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition*, New York: Mc Graw-Hill.
- Damanik, Asan. 2011. *Fisika Energi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Dyayady, MT. 2008. *Alam Semesta Bertawaf*. Yogyakarta: Lingkaran.
- Famdi Alphan Muhakiqi. 2003. *Perancangan stirling engine Pengarang: Program Studi Teknik Mesin*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Faqih, Allamah Kamal. 2005. *Tafsir Nuzul Qur'an jilid VII*. Jakarta: Al Huda.
- Fergusson, Colin R. 1986. *Internal combustion engine*, John Wiley and son: New York.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*. Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David. 1998. *Fisika Jilid 1 jilid ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Jansen, T.J. 1995. *Teknologi Rekayasa Sel Surya*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Joseph, H.K dan Nugroho, M. 2010. *Catatan Kuliah Ginekologi dan Obstetri (Obsgyn)*. Yogyakarta: Nuha Medika.
- Koestoer, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: UI Press.

Mulyono, Agus. 2007. *Cahaya di atas cahaya kajian cahaya prespektif fisika dan tasawuf*. Malang: Uin Press.

Lang, Kenneth R. 2006. *Depertement of Physic and Astronomi*. Ribinson hall. USA: Tufts University Medford.

Nugroho, Yusuf Sulistyo. 2011. *Teori-Teori Fisika Dan Matematika*. Bandung: Mizan Media Utama.

Prawirowardoyo, Susilo. 1996. *Meteorologi*. Bandung : ITB

Purwanto, Agus. 2008. *Ayat-ayat Semesta Sisi-sisi Al Quran yang Terlupakan*. Bandung: Mizan Pustaka.

Quraish, M Shihab. 2002. *Tafsir al Misbah, pesan, kesa, dan keserasian, al Quran*. Jakarta: Lentera hati.

Reynolds, Tom D dan Richards, Paul A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company: Boston.

Satyadarma, dita. 2005. *Dinamika Teknik*. Jakarta: Gunadharma.

Shihab, M. Quraish. 2003. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an volume 6*. Jakarta: Lentera Hati

Supramono, Eddy dkk. 2005. *Fisika Dasar 2*. Malang: Universitas Negeri Malang Press.

Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga

Tjasyono. 2003. *Geosains*. Bandung: ITB.

Tjasyono. 2006. *Ilmu Kebumian dan Antariksa*. Bandung: Rosdakarya.

Vineeth,CS. 2008. *Stirling Engineer Beginner Guide. Department Of Mechanical Engineering. College of Engineering: Thiruvananthapura.*

Wardhana, Frodierman. 2004. *Al-Qur'an dan Energi Nuklir*. Yogyakarta: Pustaka pelajar.

Woodward, F.I. and J.E. Sheehy, 1983. *Principles and Measurements in Environmental Biology*. Butterworths and Co (Publishere) Ltd. pp. 75-106

Zemansky, Mark W dan Dittman, Richard H. 1986. *Kalor dan Termodinamika*.
Bandung: ITB.



Lampiran 1. Data Hasil penelitian

Hari/Tanggal : Selasa 24 Mei2016

Tebal lensa : 15 cm.

No	Suhu (°C)		Intensitas (W/m ²)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
1	157	27	805	1373	170	0.013
2	178	32	692	1235	205	0.016
3	187	35	671	1261	238	0.016
4	208	42	642	1212	345	0.018
5	168	47	786	1453	109	0.012
6	175	48	647	1195	116	0.012
7	201	42	650	1235	277	0.016
8	220	44	582	1064	384	0.018
9	183	35	664	1297	212	0.016
10	180	29	747	1395	225	0.016
11	174	32	692	1301	190	0.015
12	134	28	776	1494	128	0.01
13	146	33	774	1439	153	0.01
14	189	28	580	1031	343	0.018
15	206	31	657	1215	370	0.018
16	189	33	677	1264	242	0.016
17	206	28	605	1117	323	0.019
18	190	31	650	1135	271	0.019
19	240	34	579	1093	498	0.018
20	212	31	548	1067	359	0.018
21	189	29	677	1264	284	0.016
$\bar{x}$	187	34	671	1245	259	0.02

Hari/Tanggal : Rabu 25 Mei 2016

Tebal lensa : 20 cm

No	Suhu (°C)		Intensitas (W/m ²)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
1	134	28	776	1594	236	0.016
2	146	33	774	1539	263	0.016
3	168	35	692	1401	275	0.016
4	201	38	657	1315	396	0.017
5	208	31	664	1397	461	0.018
6	220	35	605	1217	421	0.018
7	206	28	582	1264	479	0.018
8	178	32	671	1461	330	0.016
9	183	35	650	1435	350	0.016
10	180	29	580	1131	349	0.017
11	187	35	677	1264	364	0.016
12	179	33	642	1352	348	0.017
13	189	28	647	1315	378	0.017
14	175	30	786	1553	329	0.017
15	170	28	805	1573	289	0.017
16	157	27	692	1335	275	0.018
17	174	32	747	1595	311	0.018
18	200	30	883	1867	421	0.018
19	214	34	627	1264	523	0.018
20	208	35	817	1620	458	0.019
21	182	36	615	1215	349	0.019
$\bar{x}$	183	32	695	1415	362	0.02

Hari/Tanggal : Kamis 26 Mei 2016

Tebal lensa : 25 cm

No	Suhu (°C)		Intensitas (W/m ²)		rpm	τ (N.m)
	Panas	Dingin	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		
1	178	37	577	1434	393	0.016
2	285	36	745	1678	635	0.019
3	295	42	745	1958	642	0.019
4	236	40	772	1832	499	0.018
5	248	48	728	1729	524	0.018
6	214	34	645	1518	482	0.017
7	203	30	735	1744	471	0.017
8	173	27	640	1397	414	0.016
9	225	36	746	1622	485	0.018
10	213	42	689	1594	464	0.018
11	184	36	648	1638	451	0.018
12	181	42	580	1457	366	0.015
13	260	36	774	1877	571	0.018
14	242	29	784	1769	556	0.018
15	145	32	492	1084	333	0.014
16	180	29	667	1564	452	0.017
17	175	31	728	1592	400	0.017
18	220	44	662	1584	481	0.017
19	187	35	662	1694	452	0.017
20	157	27	580	1251	339	0.014
21	206	31	640	1455	474	0.017
$\bar{x}$	210	35	678	1594	471	0.02

Lampiran 2. Data beda suhu (ΔT) dan kecepatan putar (rpm) mesin Stirling

Tebal lensa 25cm		Tebal lensa 20cm		Tebal lensa 15cm	
rpm	ΔT	rpm	ΔT	rpm	ΔT
393	141	236	106	170	130
635	249	263	113	205	146
642	253	275	133	238	152
499	196	396	163	345	166
524	200	461	177	109	121
482	180	421	185	116	127
471	173	479	178	277	159
414	146	330	146	384	176
485	189	350	148	212	148
464	171	349	151	225	151
451	148	364	152	190	142
366	139	348	146	128	106
571	224	378	161	153	113
556	213	329	145	343	161
333	113	289	142	370	175
452	151	275	130	242	156
400	144	311	142	323	178
481	176	421	170	271	159
452	152	523	180	498	206
339	130	458	173	359	181
474	175	349	146	284	160
$\bar{x} = 471$	$\bar{x} = 174$	$\bar{x} = 362$	$\bar{x} = 151.8$	$\bar{x} = 259$	$\bar{x} = 153$

Lampiran 3. Data penguatan intensitas cahaya matahari

Tebal lensa 15 cm

Intensitas W/m ²		M
Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan	
805	1373	1.71
692	1235	1.78
671	1261	1.88
642	1212	1.89
786	1453	1.85
647	1195	1.85
650	1235	1.90
582	1064	1.83
664	1297	1.95
747	1395	1.87
692	1301	1.88
776	1494	1.93
774	1439	1.86
580	1031	1.78
657	1215	1.85
677	1264	1.87
605	1117	1.85
650	1135	1.75
579	1093	1.89
548	1067	1.95
677	1264	1.87
671	1245	1.85

Tebal lensa 20 cm

Intensitas W/m ²		M
Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan	
776	1594	2.1
774	1539	2.0
692	1401	2.0
657	1315	2.0
664	1397	2.1
605	1217	2.0
582	1264	2.2
671	1461	2.2
650	1435	2.2
580	1131	2.0
677	1264	1.9
642	1352	2.1
647	1315	2.0
786	1553	2.0
805	1573	2.0
692	1335	1.9
747	1595	2.1
883	1867	2.1
627	1264	2.0
817	1620	2.0
615	1215	2.0
695	1415	2.0

Tebal lensa 25 cm

Intensitas W/m ²

Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan	M
577	1434	2.5
745	1678	2.3
745	1958	2.6
772	1832	2.4
728	1729	2.4
645	1518	2.4
735	1744	2.4
640	1397	2.2
746	1622	2.2
689	1594	2.3
648	1638	2.5
580	1457	2.5
774	1877	2.4
784	1769	2.3
492	1084	2.2
667	1564	2.3
728	1592	2.2
662	1584	2.4
662	1694	2.6
580	1251	2.2
640	1455	2.3
678	1594	2.4

Lampiran 4. Efisiensi

Efisiensi (%)		
Tebal lensa 15 cm	Tebal lensa 20 cm	Tebal lensa 25 cm
1.94	2.85	5.28
3.20	3.29	8.65
3.63	3.78	7.50
6.16	6.16	5.90
1.08	7.15	6.56
1.40	7.49	6.49
4.32	8.21	5.52
7.82	4.35	5.70
3.15	4.69	6.47
3.10	6.31	6.31
2.64	5.54	5.96
1.03	5.26	4.53
1.28	5.88	6.59
7.20	4.33	6.81
6.59	3.76	5.18
3.69	4.46	5.91
6.61	4.22	5.14
5.46	4.88	6.21
9.87	8.96	5.46
7.29	6.46	4.56
4.32	6.57	6.66
$\bar{x} = 4.37$	$\bar{x} = 5.46$	$\bar{x} = 6.07$

Lampiran 5. Foto kegiatan



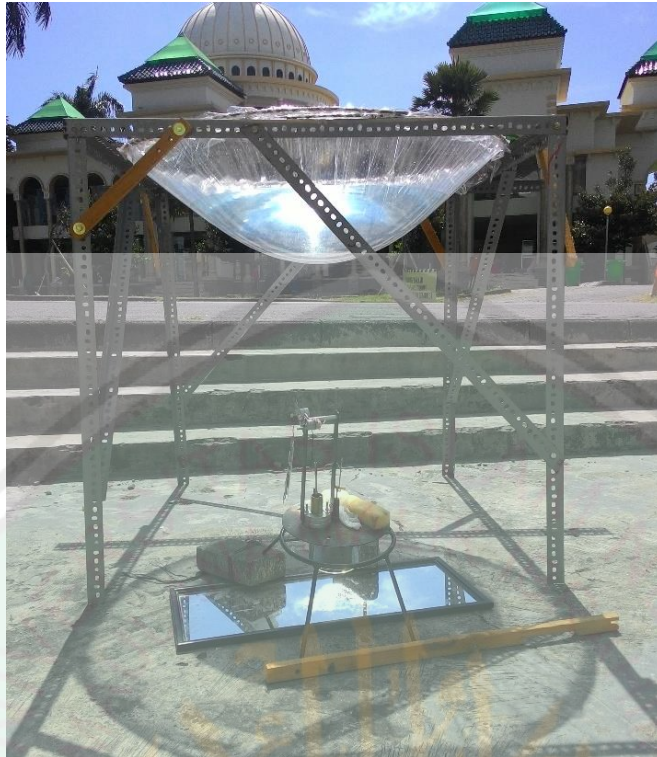
Lebar fokus cahaya setelah melewati lensa



Lensa air (plan-konveks)



Mesin Stirling tipe gamma



Mesin Stirling tipe gamma menggunakan pemfokus cahaya matahari



Proses pengukuran

Lampiran 6. Data hasil perhitungan

Tebal lensa air 15 cm.

No	Suhu (°C)			Intensitas (W/m ²)		M (kali)	P (watt)		rpm	τ (N.m)	E (J)
	Panas	Dingin	ΔT	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		input	output			
1	157	27	130	805	1373	1.71	11.95	0.23	170	0.013	0.39
2	178	32	146	692	1235	1.78	10.74	0.34	205	0.016	0.57
3	187	35	152	671	1261	1.88	10.97	0.40	238	0.016	0.76
4	208	42	166	642	1212	1.89	10.54	0.65	345	0.018	1.61
5	168	47	121	786	1453	1.85	12.64	0.14	109	0.012	0.16
6	175	48	127	647	1195	1.85	10.40	0.15	116	0.012	0.18
7	201	42	159	650	1235	1.90	10.74	0.46	277	0.016	1.04
8	220	44	176	582	1064	1.83	9.26	0.72	384	0.018	1.99
9	183	35	148	664	1297	1.95	11.28	0.36	212	0.016	0.61
10	180	29	151	747	1395	1.87	12.14	0.38	225	0.016	0.68
11	174	32	142	692	1301	1.88	11.32	0.30	190	0.015	0.49
12	134	28	106	776	1494	1.93	13.00	0.13	128	0.01	0.22
13	146	33	113	774	1439	1.86	12.52	0.16	153	0.01	0.32
14	189	28	161	580	1031	1.78	8.97	0.65	343	0.018	1.59
15	206	31	175	657	1215	1.85	10.57	0.70	370	0.018	1.85
16	189	33	156	677	1264	1.87	11.00	0.41	242	0.016	0.79
17	206	28	178	605	1117	1.85	9.72	0.64	323	0.019	1.41
18	190	31	159	650	1135	1.75	9.87	0.54	271	0.019	0.99
19	240	34	206	579	1093	1.89	9.51	0.94	498	0.018	3.35
20	212	31	181	548	1067	1.95	9.28	0.68	359	0.018	1.74
21	189	29	160	677	1264	1.87	11.00	0.48	284	0.016	1.09
$\bar{x}$	187	34	153	671	1245	1.85	10.83	0.45	259	0.02	1.04

Tebal lensa air 20 cm.

No	Suhu (°C)			Intensitas (W/m ²)		M (kali)	P (watt)		rpm	τ (N.m)	E (J)
	Panas	Dingin	ΔT	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		input	output			
1	134	28	106	776	1594	2.1	13.87	0.40	236	0.016	0.006
2	146	33	113	774	1539	2.0	13.39	0.44	263	0.016	0.007
3	168	35	133	692	1401	2.0	12.19	0.46	275	0.016	0.007
4	201	38	163	657	1315	2.0	11.44	0.70	396	0.017	0.011
5	208	31	177	664	1397	2.1	12.15	0.87	461	0.018	0.012
6	220	35	185	605	1217	2.0	10.59	0.79	421	0.018	0.011
7	206	28	178	582	1264	2.2	11.00	0.90	479	0.018	0.013
8	178	32	146	671	1461	2.2	12.71	0.55	330	0.016	0.009
9	183	35	148	650	1435	2.2	12.48	0.59	350	0.016	0.009
10	180	29	151	580	1131	2.0	9.84	0.62	349	0.017	0.009
11	187	35	152	677	1264	1.9	11.00	0.61	364	0.016	0.010
12	179	33	146	642	1352	2.1	11.76	0.62	348	0.017	0.009
13	189	28	161	647	1315	2.0	11.44	0.67	378	0.017	0.010
14	175	30	145	786	1553	2.0	13.51	0.59	329	0.017	0.009
15	170	28	142	805	1573	2.0	13.69	0.51	289	0.017	0.008
16	157	27	130	692	1335	1.9	11.61	0.52	275	0.018	0.007
17	174	32	142	747	1595	2.1	13.88	0.59	311	0.018	0.008
18	200	30	170	883	1867	2.1	16.24	0.79	421	0.018	0.011
19	214	34	180	627	1264	2.0	11.00	0.99	523	0.018	0.014
20	208	35	173	817	1620	2.0	14.09	0.91	458	0.019	0.012
21	182	36	146	615	1215	2.0	10.57	0.69	349	0.019	0.009
$\bar{x}$	183.8	32.0	151.8	695	1415	2.0	12.3	0.7	362	0.02	0.01

Tebal lensa air 25 cm.

No	Suhu (°C)			Intensitas (W/m ²)		M (kali)	P (watt)		rpm	τ (N.m)	E (J)
	Panas	Dingin	ΔT	Sebelum difokuskan	Setelah difokuskan		input	output			
1	178	37	141	577	1434	2.5	12.48	0.66	393	0.016	2.09
2	285	36	249	745	1678	2.3	14.60	1.26	635	0.019	5.44
3	295	42	253	745	1958	2.6	17.03	1.28	642	0.019	5.56
4	236	40	196	772	1832	2.4	15.94	0.94	499	0.018	3.36
5	248	48	200	728	1729	2.4	15.04	0.99	524	0.018	3.71
6	214	34	180	645	1518	2.4	13.21	0.86	482	0.017	3.14
7	203	30	173	735	1744	2.4	15.17	0.84	471	0.017	2.99
8	173	27	146	640	1397	2.2	12.16	0.69	414	0.016	2.31
9	225	36	189	746	1622	2.2	14.11	0.91	485	0.018	3.18
10	213	42	171	689	1594	2.3	13.86	0.87	464	0.018	2.91
11	184	36	148	648	1638	2.5	14.25	0.85	451	0.018	2.75
12	181	42	139	580	1457	2.5	12.67	0.57	366	0.015	1.81
13	260	36	224	774	1877	2.4	16.33	1.08	571	0.018	4.40
14	242	29	213	784	1769	2.3	15.39	1.05	556	0.018	4.17
15	145	32	113	492	1084	2.2	9.43	0.49	333	0.014	1.50
16	180	29	151	667	1564	2.3	13.61	0.80	452	0.017	2.76
17	175	31	144	728	1592	2.2	13.85	0.71	400	0.017	2.16
18	220	44	176	662	1584	2.4	13.78	0.86	481	0.017	3.12
19	187	35	152	662	1694	2.6	14.73	0.80	452	0.017	2.76
20	157	27	130	580	1251	2.2	10.88	0.50	339	0.014	1.55
21	206	31	175	640	1455	2.3	12.66	0.84	474	0.017	3.03
$\bar{x}$	210	35	174	678	1594	2.4	13.87	0.85	471	0.02	3.08



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Evita Muthi'atul Maula
NIM : 12640052
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika
Judul Skripsi : Efek Tebal Lesa Pemfokus Cahaya Matahari Sebagai Sumber Panas Mesin Stirling Tipe Gamma Untuk Mengkonversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T
Pembimbing II : Ahmad Abthoki M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	11 Februari 2016	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	14 Februari 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II	
3	26 Februari 2016	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4	31 Mei 2016	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
5	1 Juni 2016	Konsultasi Bab IV dan V	
6	6 Juni 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
7	11 Juni 2016	Konsultasi IV, V dan ACC	
8	20 Juni 2016	Konsultasi revisi agama Bab I,II dan IV	
9	31 Juni 2016	Konsultasi Agama Bab I, II, IV dan ACC	
10	5 Juli 2016	Konsultasi semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 6 September 2016

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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