

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN PROTOTYPE MESIN STRIRLING SEDERHANA SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK BERBAHAN BAKAR GAS ALAM

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M. NURUL AL BAINAL INSAN
1407220045



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Nurul Al Baina' Insan

NPM : 1407220045

Program Study : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perancangan prototype Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Berbahan Bakar Gas Alam

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Study Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

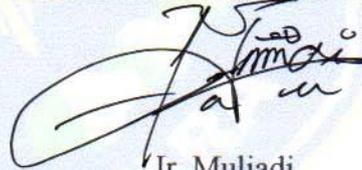
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



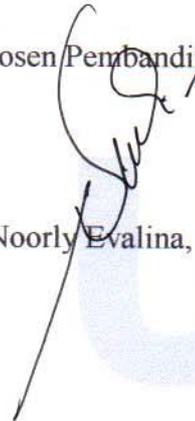
Ir. Abdul Azis Hutasuht, M.M

Dosen Pembimbing II / Penguji



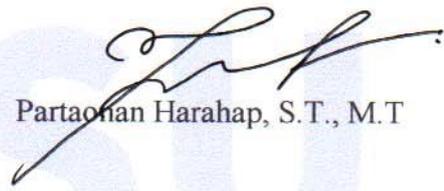
Ir. Muliadi

Dosen Pembanding I / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Penguji



Partaon Harahap, S.T., M.T

Program Study Teknik Elektro

Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd, M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Nurul Al Binal Insan
Tempat /Tanggal Lahir : Sukaraja/06 Desember 1996
NPM : 1407220045
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“PERANCANGAN PROTOTYPE MESIN STRIRLING SEDERHANA SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK BERBAHAN BAKAR GAS ALAM”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

M. Nurul Al Binal Insan

ABSTRAK

Energi merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan makhluk hidup. Sumber energi berasal dari makhluk hidup atau benda-benda lainnya yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Energi dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Kenyataan inilah yang mendasari konsep hukum kekekalan energi, dimana energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi menjadi energi lain. Seperti energi panas yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik dan energi listrik. Mesin stirling pada umumnya memiliki cara kerja memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaiian dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Dari definisi tadi dapat ditarik kesimpulan bahwa Mesin stirling akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur. Mesin Stirling tipe gamma memiliki susunan dimana displacer dan power piston terletak di silinder yang terpisah. Displacer menggerakkan gas kerja keluar dan masuk bagian panas dan dingin pada bagian mesin. Ruang bagian ujung dingin (cold end) termasuk bagian dingin dari displacer sama seperti power piston. Gas kerja bergerak melewati pendingin (cooler), regenerator dan pemanas (heater), bergerak maju dan mundur diantara dua silinder.

Kata Kunci: Mesin Stirling, Pemuaiian, Temperatur, Gas Kerja.

ABSTRACT

Energy is a major requirement for the survival of living things. Energy sources come from living things or other objects that can be renewed and cannot be renewed. Energy can change from one form of energy to another. This fact underlies the legal concept of conservation of energy, where energy cannot be created and destroyed, but can be converted into other energy. Like heat energy which can be converted into mechanical energy and electrical energy. Stirling engines generally have a working method utilizing the basic properties of the air which will expand if heated and will shrink if cooled. Thus there will be an expansion and shrinking cycle so that a machine can rotate. From the definition, it can be concluded that the stirling engine will work or spin if there is a temperature difference. The gamma type Stirling engine has an arrangement where the displacer and power piston are located in separate cylinders. Displacer moves the working gas out and into the hot and cold parts of the engine. The cold end includes the cold part of the displacer just like the power piston. Work gas moves through the cooler (cooler), regenerator and heater (heater), moving forward and backward between two cylinders.

Keywords: *Stirling Engine, Expansion, Temperature, Working Gas.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, maka skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Salam dan salawat semoga selalu tercurah pada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul berjudul **“Perancangan Prototype Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Gas Alam”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program sarjana Strata Satu di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah di berikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Secara khusus rasa terima kasih tersebut saya sampaikan kepada:

1. Ayahanda tercinta Asnin dan Ibunda Tercinta Iriyani. Orang tua penulis telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik motivasi, nasehat, materi maupun do'a.
2. Bapak Dr. Agussani MAP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan dorongan dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Muliadi selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dorongan dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Sahabat Al Pagi yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu-persatu, semua teman-teman saya yang telah banyak memberikan saya semangat, dukungan, motivasi dan do'a.

Penulis menyadari adanya kemungkinan terjadi kekeliruan ataupun kelebihan dan kekurangan serta kesalahan-kesalahan di dalam penyusunan tugas akhir ini, mungkin masih banyak kekurangannya. Oleh sebab itu saya mengharapkan kritik dan saran. Semoga tugas akhir ini dapat membawa manfaat yang sebesar-besarnya bagi penulis sendiri maupun bagi dunia pendidikan pada umumnya, khususnya untuk Fakultas Teknik Elektro. Terimah kasih atas segala perhatiannya penulis mengucapkan terimah kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 18 Maret 2019

Penulis,

M. Nurul Al Binal Insan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Landasan Teori	8
2.3 Mesin Stirling	9
2.3.1 Sejarah Awal Mesin Stirling	10
2.3.2 Siklus Mesin Stirling	11
2.4 Jenis-Jenis Mesin Stirling	13
2.4.1 Mesin Stirling Tipe Alfa	14

2.4.2	Mesin Stirling Tipe Beta	15
2.4.3	Mesin Stirling Tipe Gamma	15
2.5	Bagian-Bagian Mein Stirling	16
2.5.1	Heat Exchanger	16
2.5.2	Piston	17
2.5.3	Displacer	17
2.5.4	Flywheel	18
2.6	Karakteristik Mesin Stirling	19
2.6.1	Kelebihan Mesin Stirling	19
2.6.2	Kelemahan Mesin Stirling	19
2.7	Teori Schmidt	20
2.7.1	Asumsi Pada Teori Schmidt	20
2.8	Mesin Carnot	22
2.9	Generator	26
2.9.1	Generator Arus Bolak-Balik (AC)	27
2.9.2	Generator Arus Searah (DC)	28
2.10	Bahan Bakar	29
2.10.1	Sejarah Gas Alam dan Potensinya	29
2.10.2	Pengolahan Gas Alam	30
2.10.3	Perbedaan Gas Alam, LPG, LNG dan CNG	33
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	41

3.2	Peralatan dan Bahan Penelitian	41
3.3	Metode Penelitian	43
3.4	Pemilihan Tipe Mesin Stirling	43
3.5	Desain Komponen Mesin Stirling	44
3.5.1	Crankcase Silinder	45
3.5.2	Silinder Displacer	45
3.5.3	Silinder Power	46
3.5.4	Crankcase Crankshaft	47
3.5.5	Piston Displacer	47
3.5.6	Piston Power	48
3.5.7	Universal Joint	48
3.5.8	Flywheel	49
3.5.9	Crankshaft	50
3.5.10	Generator	50
3.5.11	Lampu Senter 9 LED	51
3.6	Perancangan Mesin Stirling	51
3.7	Langkah-langkah Pembuatan Mesin Stirling	52
3.8	Diagram Alir Penelitian (Flowchart)	54
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1	Hasil Penelitian	55
4.2	Pembahasan	55
4.2.1	Hasil Pengukuran Pada Tinggi Tungku 9,5 cm	55
4.2.2	Hasil Pengukuran Pada Tinggi Tungku 16 cm	58
4.2.3	Hasil Perbandingan Antara Jarak	62

BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Peralatan pembuatan mesin stirling.....	41
Tabel 4.1 Data pengamatan pada tinggi tungku 9,5 cm.....	56
Tabel 4.2 Data pengamatan pada tinggi tungku 16 cm.....	59
Tabel 4.3 Data Perbandingan tinggi tungku terhadap mesin stirling.....	62

DAFTAR TABEL

Gambar 2.1	Stirling Engine	9
Gambar 2.2	Diagram T-S Silkus Stirling	13
Gambar 2.3	Diagram P-V siklus Stirling	13
Gambar 2.4	Heat exchanger	16
Gambar 2.5	Piston	17
Gambar 2.6	Displacer	17
Gambar 2.7	Flywheel	18
Gambar 2.8	Volume Sebagai Fungsi Sinusoidal	21
Gambar 2.9	Perubahan keadaan gas dalam siklus reversibel	22
Gambar 2.10	Siklus Carnot	23
Gambar 2.11	Konstruksi Generator DC	28
Gambar 2.12	Diagram Alir Proses Pengolahan Gas Alam	31
Gambar 2.13	Kilang Gas	33
Gambar 2.14	Contoh gambar tabung LPG	34
Gambar 2.15	meter Gas Rumah Tangga	36
Gambar 2.16	Pipa Gas (Pipa Gas Alam)	36
Gambar 2.17	Tabung Gas CNG	38
Gambar 2.18	Bajaj Gas (beda sama yang orange)	38
Gambar 2.19	kapal LNG	40
Gambar 2.20	kapal LNG Membrane	40
Gambar 3.1	Desain Mesin Stirling	44
Gambar 3.2	Crankcase Silinder	45
Gambar 3.3	Silinder Displacer	46
Gambar 3.4	Silinder Power	46
Gambar 3.5	Crankcase Crankshaft	47
Gambar 3.6	Piston Displacer	48
Gambar 3.7	Piston Power	48
Gambar 3.8	Universal Joint	49
Gambar 3.9	Flywheel	49
Gambar 3.10	Crankshaft	50

Gambar 3.11	Generator DC	50
Gambar 3.12	Lampu Senter 9 LED	51
Gambar 3.13	Diagram Alir (Flowchart)	54
Gambar 4.1	Grafik Nilai Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 9,5 Cm	56
Gambar 4.2	Grafik nilai Putaran Turbin terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 9,5 cm	57
Gambar 4.3	Grafik Nilai Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 9,5 cm	57
Gambar 4.4	Grafik nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 9,5 cm	58
Gambar 4.5	Grafik Nilai Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 16 Cm	59
Gambar 4.6	Grafik nilai Putaran Turbin terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 16 cm	60
Gambar 4.7	Grafik Nilai Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 16 cm	60
Gambar 4.8	Grafik nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 16 cm	61
Gambar 4.9	Grafik Nilai Perbandingan Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku	63
Gambar 4.10	Grafik nilai Perbandingan Putaran Turbin terhadap besar kecil api pada tinggi tungku	63
Gambar 4.11	Grafik Nilai Perbandingan Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku	64
Gambar 4.12	Grafik nilai Perbandingan arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat dalam sebuah Negara dari waktu ke waktu adalah suatu hal yang tidak dapat dihindari. Terutama untuk Negara berkembang seperti Indonesia. Dari tahun ketahun, pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia terus mengalami peningkatan. Peningkatan tersebut membawa bermacam-macam dampak terhadap berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu aspek yang paling terpengaruh dengan adanya penambahan jumlah penduduk adalah penggunaan energi untuk menunjang kebutuhan hidup yang meliputi sector industri, transportasi, rumah tangga, dan lain-lain. Semakin tinggi jumlah penduduk yang berada di sebuah negara, semakin tinggi juga jumlah energi yang dibutuhkan dan digunakan oleh Negara tersebut[1].

Untuk memenuhi segala kebutuhan terhadap penggunaan energi, diperlukan upaya yang tepat dalam proses pengolahan dan pemanfaatan sumber-sumber energi yang tersedia. Upaya tersebut meliputi inovasi dan modifikasi dalam konversi energi. Seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi, kebutuhan akan mesin penggerak utama atau prime mover juga semakin meningkat. Prime mover atau mesin penggerak menghasilkan suatu energi mekanis sebagai input yang kemudian dikonversi menjadi bentuk energi lain sebagai output. Prime mover atau mesin penggerak tersebut dapat dimanfaatkan dalam banyak hal, misalnya sebagai penggerak alat transportasi, alat penggerak mesin-mesin industri, alat penggerak generator, alat penggerak pompa, dan lain

sebagainya. Disamping itu, mesin penggerak yang dapat memanfaatkan sumber energi yang renewable (dapat diperbaharui) akan dapat menjawab krisis bahan bakar minyak yang saat ini sedang terjadi di semua negara. Untuk menjawab tantangan tersebut maka dalam tugas akhir ini dirancang sebuah Mesin Stirling yang merupakan sebuah mesin pembakaran luar yang dapat memanfaatkan panas/kalor dari berbagai macam sumber panas/kalor[2].

Mesin Stirling memiliki potensi untuk mencapai efisiensi tertinggi dari semua mesin kalor, secara teori sampai efisiensi maksimal mesin Carnot, meskipun dalam prakteknya usaha ini masih dibatasi oleh berbagai sifat-sifat non-ideal baik itu dari fluida kerjanya maupun bahan dari mesin itu sendiri, seperti gesekan, konduktivitas termal dan titik lebur. Mesin Stirling adalah salah satu mesin kalor yang memanfaatkan perbedaan temperatur, perubahan tekanan, dan perubahan volume fluida kerja dalam sistem tertutup. Akibatnya fluida kerja tersebut mengalami proses ekspansi dan kompresi pada satu kali siklus yang dapat menggerakkan piston secara bolak-balik (reciprocating). Siklus ini terjadi berulang-ulang secara periodic sehingga terjadi gerakan piston yang dapat dimanfaatkan sebagai penggerak[2].

Berdasarkan hal tersebut diatas, penulis berkeinginan membuat tugas akhir tentang “*Perancangan Prototype Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Berbahan Bakar Gas Alam*” dan melakukan penelitian mengenai, prinsip kerja mesin stirling dan tingkat ekonomis bahan bakar.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas dapat diketahui permasalahan yang perlu dikaji lebih lanjut, yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin stirling.
2. Bagaimana pengaruh tekanan, temperature, putaran Turbin, tegangan, dan arus *output* terhadap perbedaan tinggi tungku dan besar kecilnya api.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dapat diambil dari penulisan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Mampu merancang sistem pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin stirling.
2. Mengetahui tekanan, temperature, putaran Turbin, tegangan, dan arus yang dihasilkan antara perbedaan tinggi tungku dan besar kecilnya api.

1.4 Batasan Masalah

Pada penulisan Tugas Akhir ini penulis menganalisa *Mesin Stirling sederhana sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik berbahan bakar gas alam* dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembuatan pembangkit listrik menggunakan mesin stirling.
2. Mengetahui tekanan, temperature, putaran Turbin, tegangan, dan arus yang dihasilkan antara perbedaan tinggi tungku dan besar kecilnya api.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagi Mahasiswa, dapat mengetahui bagaimana memanfaatkan bahan sederhana yang dirubah menjadi alat pembangkit listrik sederhana dan mendapatkan energi listrik dengan biaya minimal.
2. Bagi Universitas, dapat dijadikan sebagai referensi untuk mengetahui kajian mengenai perancangan mesin stirling.

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literature
Meliputi studi definisi mesin stirling serta prinsip kerja mesin stirling.
2. Data Riset
Meliputi pengumpulan data perancangan dan prinsip kerja mesin stirling.
3. Pengolahan Data dan Analisa
Menganalisa tegangan dan arus yang keluar dengan perbandingan tinggi tungku dan besar kecilnya api dan perbandingan harga bahan bakar.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Padabab ini akan mengawali penulisan dengan menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUN PUSTAKA

Bab ini memuat tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan tentang teori dasar-dasar umum tentang perancangan mesin stirling dan prinsip kerja mesin stirling serta ekonomis bahan bakar.

BAB III : METODOLOGI

Bab ini berisikan tempat dan data riset serta langkah – langkah pemecahan masalah yang akan di bahas, meliputi langkah-langkah pengumpulan data dan cara-cara pengolahan data.

BAB IV : ANALISA DAN PENGUJIAN

Bab ini akan menguraikan pengaruh tegangan dan arus *output* terhadap perbedaan tinggi tungku dan besar kecilnya api.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat dalam sebuah negara dari waktu ke waktu adalah suatu hal yang tidak dapat dihindari. Terutama untuk negara berkembang seperti Indonesia. Dari tahun ke tahun, pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia terus mengalami peningkatan. Peningkatan tersebut membawa bermacam-macam dampak terhadap berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu aspek yang paling terpengaruh dengan adanya penambahan jumlah penduduk adalah penggunaan energi. Untuk memenuhi segala kebutuhan terhadap penggunaan energi, diperlukan upaya yang tepat dalam proses pengolahan dan pemanfaatan sumber-sumber energi yang tersedia. Untuk menjawab tantangan tersebut maka dirancang sebuah Mesin Stirling yang merupakan sebuah mesin pembakaran luar yang dapat memanfaatkan panas/kalor dari berbagai macam sumber panas/kalor[3].

Beberapa penelitian tentang Mesin *Stirling* yang dilakukan yaitu :

1. Mesin Stirling merupakan mesin siklus tertutup dengan pembakaran eksternal, dimana pembakaran eksternal dapat berasal dari berbagai macam sumber, seperti panas bumi, sisa gas buang industri, pembakaran sampah, dan panas matahari. Mesin Stirling mampu mengubah energi panas menjadi energi kinetik yang dapat direkayasa untuk berbagai kebutuhan seperti pompa air. Untuk meningkatkan panas yang berasal dari panas matahari digunakan sistem penerima panas dengan dasar gagasannya adalah kompor matahari. Reflektor

akan memantulkan cahaya menuju satu titik yaitu kotak penyimpanan panas yang terbuat dari plat berwarna hitam serta penambahan batu kerikil untuk peningkatan sekaligus penyimpanan panas sementara. Berbagai kendala yang diidentifikasi sebagai salah satu penghambat mesin untuk menghasilkan siklus penuh, seperti langkah volume yang terlalu besar, gesekan sistem yang cukup berat karena sulitnya sistem pelumasan, atau tekanan muai fluida kerja yang dinilai kurang. Mesin mampu menghasilkan gerakan yang bisa diukur tingkat keluarannya. Adanya gerakan yang dihasilkan, keluaran dari sistem dapat diukur. Sistem penerima panas dapat meningkatkan panas hingga 58.73% dari suhu yang diterima. Panas yang diterima oleh mesin mampu memanaskan fluida kerja sebagai media penggerak piston. Pemanasan dapat ditingkatkan dengan mengganti kaca penutup kotak penerima panas dengan menggunakan lensa cembung, atau *fresnel lens*, sehingga panas mencapai titik yang diinginkan. Kemudian menggunakan langkah usaha torak yang lebih kecil sesuai dengan volume muai fluida kerja yang digunakan sehingga fluida kerja mampu memberikan usaha pada piston untuk bergerak (Putra, Yosef Adiyasa, 2017).

2. Dalam perancangan dan pembuatan alat peraga *stirling engine* tipe γ , agar penambahan komponen lain untuk mengetahui *output* yang dapat dihasilkan oleh mesin selain putaran mesin, misalnya penambahan dinamo pada bagian *flywheel* sehingga *output* yang dihasilkan dari mesin adalah listrik. Hal ini menjadi masukan bagi penulis agar memanfaatkan *flywheel* secara langsung sebagai generator atau sebagai rotor generator (Narwanto, 2013).

3. Mesin stirling merupakan suatu mesin kalor yang digerakkan melalui siklus kompresi dan ekspansi pada fluida kerja dalam wujud gas. Ada 3 tipe mesin stirling yaitu tipe Alpha, Beta dan Gamma. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja reflektor parabolik terhadap intensitas radiasi matahari sebagai sumber energi panas, dan untuk mengetahui pengaruh sistem aliran air pada reservoir rendah terhadap nilai suhu, rpm, dan efisiensi mesin stiling tipe gamma. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mendiskripsikan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sumber panas reflektor parabolik dan sistem aliran air pada reservoir rendah. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja reflektor parabolik perbesaran intensitas maksimum 2,7 kali. Unjuk kerja mesin stirling tipe gamma dengan sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 315°C , kecepatan putar roda 594 rpm, dan efisiensi 8,6%, sedangkan unjuk kerja mesin stirling tipe gamma tanpa sistem aliran air pada reservoir rendah mencapai selisih suhu 297°C , kecepatan putar roda 542 rpm, dan efisiensi 7,3% (Nazila, Intan Putri, 2016).

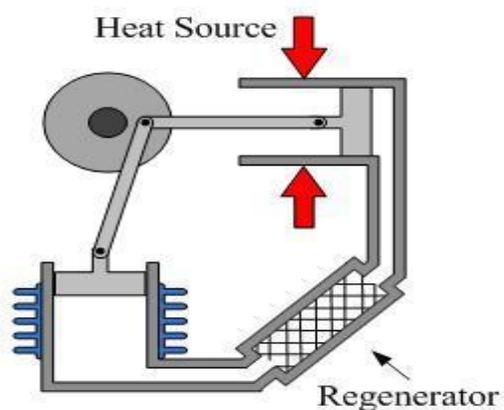
2.2 Landasan Teori

Mesin Stirling merupakan sebuah mesin dengan sistem pembakaran luar yang prinsip kerjanya berdasarkan prinsip peredaran termodinamika. Dengan kata lain sumber kalor apapun yang digunakan, selama temperaturnya cukup tinggi, akan bisa menggerakkan *mesin stirling*. Secara prakteknya, siklus *stirling* berbeda dengan siklus teoritik yang di dalamnya terdapat proses dua temperatur konstan dan dua volume konstan[4].

2.3 Mesin Stirling

Mesin Stirling merupakan perangkat mekanik yang beroperasi pada siklus termodinamika regeneratif tertutup, dengan siklus kompresi dan ekspansi fluida kerja pada tingkat suhu yang berbeda. Alirannya dikendalikan oleh perubahan volume dan ada total perubahan atau konversi dari panas ke kerja ataupun sebaliknya.

Mesin stirling pada umumnya memiliki cara kerja memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaiian dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Dari definisi tadi dapat ditarik kesimpulan bahwa *mesin stirling* akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur tersebut mengakibatkan adanya perbedaan tekanan yang akhirnya menghasilkan ekspansi dari fluida kerjanya. Ekspansi inilah yang dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi kerja oleh piston yang kemudian dihubungkan ke poros engkol (*crankshaft*) agar menjadi kerja mekanik. Poros engkol ini kemudian dihubungkan ke *flywheel* agar dapat terjadi siklus berikutnya[5].



Gambar 2.1 Stirling Engine

2.3.1 Sejarah Awal Mesin Stirling

Mesin Stirling dan Ericson memiliki sejarah cukup panjang, telah diteliti dengan sangat baik oleh Finkelstein (1959), Zarinchang (1972) dan Ross (1977). Robert Stirling sebagai penemu awal mesin panas regeneratif, menemukan mesin regeneratif siklus tertutup pada tahun 1816 dan mengembangkannya bertahun-tahun bersama saudaranya James Stirling. Dengan seluruh pengembangan teknik yang ada, penelitian mereka tertahan pada terbatasnya material sehingga pada akhir hidupnya tahun 1876 Robert Stirling menuliskan :

Perkembangan penelitian untuk mesin Stirling masih berlanjut sampai dengan tahun 1980-an dan awal 1990-an, Profesor Senft dari Universitas Wisconsin mengambil gagasan mesin Stirling dengan perbedaan suhu rendah/low differential temperature Stirling engine. Model pertama yang dihasilkan adalah mesin Ringbom, dimana mesin tersebut tidak memiliki hubungan langsung antara roda gila dan displacer, mesin Ringbom sangat tergantung pada perubahan tekanan didalam ruang utama untuk menggerakkan displacer kembali ke posisi awal dan sebagainya[6].

Pada tahun 1992 Professor Senft diminta untuk merancang dan membangun sebuah mesin Stirling dengan perbedaan suhu rendah untuk NASA yang dinamakan N 92. Professor Senft terus bekerja mengembangkan mesin Stirling dan telah menulis beberapa buku rincian sejarah dan pembuatan mesin Stirling.

2.3.2 Siklus Stirling

Hukum termodinamika I dan II digunakan serta berlaku untuk semua mesin panas/ thermal engine termasuk mesin Stirling. Ketika sebuah mesin memenuhi semua aspek dalam Hukum termodinamika I dan II maka segala hal dalam mesin itu dapat dijelaskan. Pemahaman dan keyakinan mengenai hukum termodinamika diperlukan untuk dapat memahami secara mendalam mengenai mesin panas regeneratif.

Proses yang terjadi pada mesin panas sederhana bagaimanapun masih rumit sehingga tidak mungkin untuk menghitung secara tepat apa yang terjadi pada mesin. Sebaliknya dibuatlah model teoritis yang diasumsikan, didalamnya mengandung berbagai keadaan yang diidealisasikan sejauh yang diperlukan untuk membuat analisis dari kemungkinan pengoperasiannya. Dalam hal ini, pengoperasian hampir seluruh jenis mesin dapat disimulasikan dengan menggunakan asumsi dari urutan berulang proses termodinamika yang biasa disebut siklus. Masing-masing proses diasumsikan menjadi salah satu fungsi berubah dalam fungsi termodinamika yang terjadi pada fluida bergerak dari satu kondisi ke kondisi lain, namun ada satu fungsi yang dipertahankan konstan. Kondisi termodinamika penting yaitu tekanan (P), volume (V), temperatur (T), energi dalam (U), entalpi (W) dan entropi (S).

Sebuah siklus dapat dipresentasikan dalam gambar dengan beberapa cara. Dua bentuk presentasi yang sangat membantu dalam analisis operasi mesin panas yaitu diagram tekanan-volume (P - V) dan diagram temperatur-entropi (T - S). Kedua diagram tersebut sangatlah penting dikarenakan area didalam diagram P - V

mengambarakan kerja yang dihasilkan dan area didalam diagram T-S menggambarkan proses perpindahan panas.

Stirling engine adalah mesin thermal dengan beberapa piston yang di dalamnya terdapat gas kerja dengan masa konstan (seperti gas, udara, helium atau hidrogen). Secara teoritis, siklus kerja termodinamika dari mesin ini terdiri dari dua proses isothermal dan dua proses isohoric atau lebih terkenal dengan siklus Stirling[7].

Yang membedakan siklus Stirling dengan siklus-siklus yang lainnya yaitu adanya dua proses regenerasi volume konstan. Regenerasi yaitu proses dimana panas ditransferkan ke alat penyimpan energi panas (biasa disebut regenerator) saat salah satu bagian proses dari siklus dan ditransferkan kembali ke fluida kerja pada saat salah satu bagian dari proses siklus lainnya.

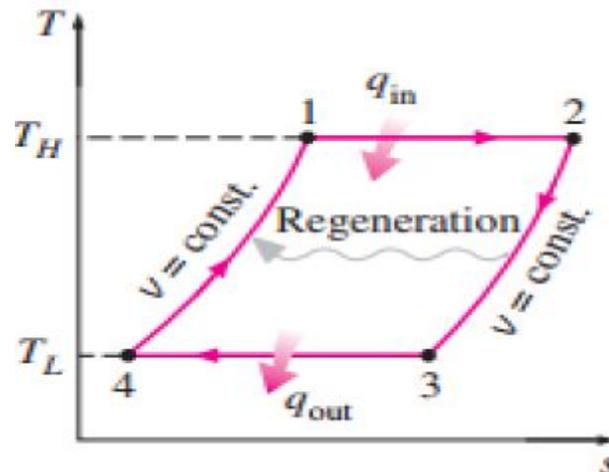
Empat proses yang benar-benar reversibel berlangsung dalam siklus Stirling yaitu:

1 – 2 T = ekspansi konstan (penambahan panas dari sumber luar).

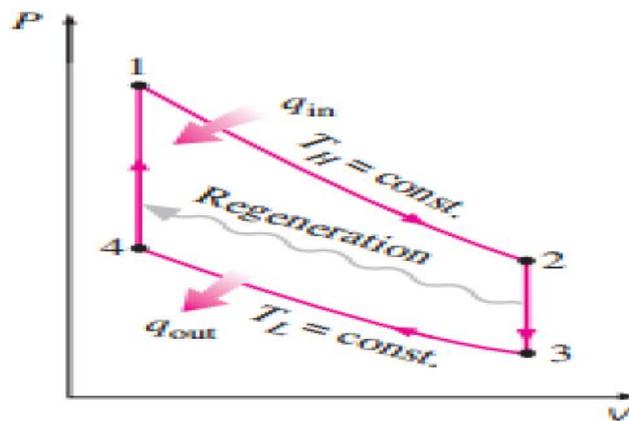
2 – 3 v = regenerasi konstan (panas internal ditransferkan dari fluida kerja ke regenerator).

3 – 4 T = kompresi konstan (panas dibuang ke pembuangan luar).

4 – 1 v = regenerasi konstan (panas internal ditransferkan kembali dari regenerator ke fluida kerja).



Gambar 2.2 Diagram T-S Siklus Stirling



Gambar 2.3 Diagram P-V siklus Stirling

2.4 Jenis-jenis Mesin Stirling

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

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.

2.4.1 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.

2.4.2 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.

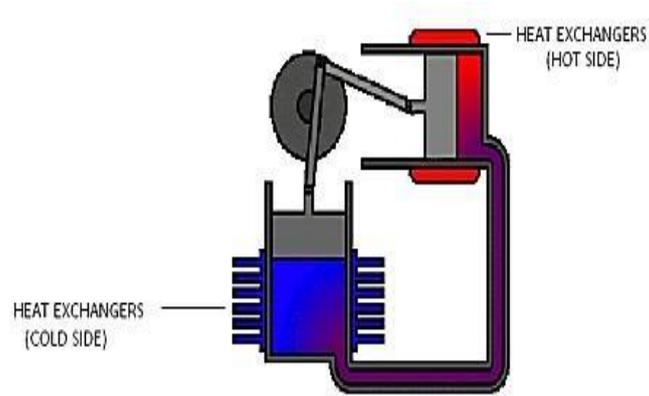
2.4.3 Mesin Stirling Tipe Gamma

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.

2.5 Bagian-bagian Mesin Stirling

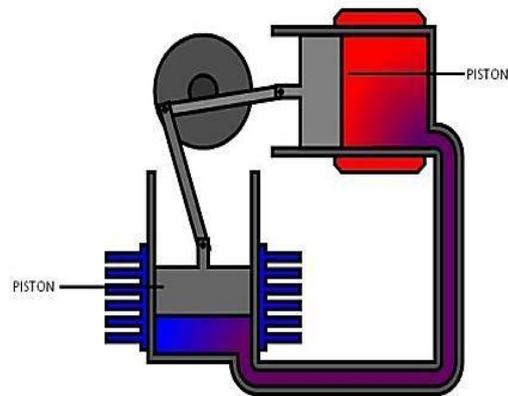
2.5.1 Heat Exchanger



Gambar 2.4 Heat exchanger

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.

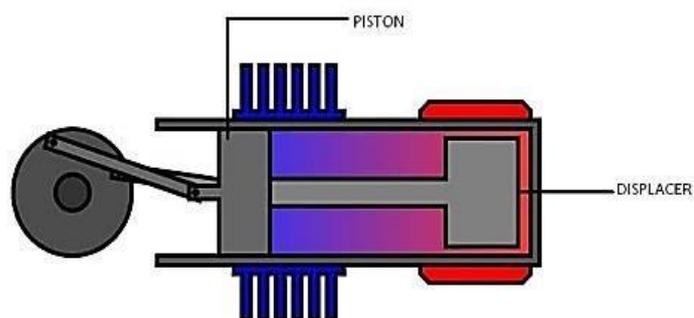
2.5.2 Piston



Gambar 2.5 Piston

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.

2.5.3 Displacer

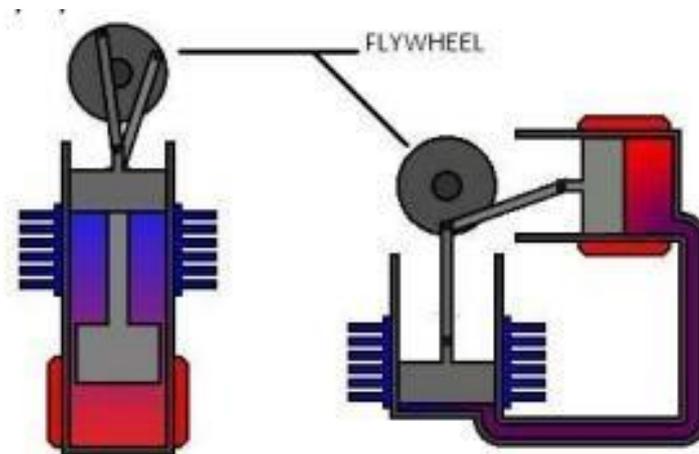


Gambar 2.6 Displacer

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.

2.5.4 *Flywheel*



Gambar 2.7 *Flywheel*

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

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 Karakteristik Mesin Stirling

2.6.1 Kelebihan Mesin Stirling

1. Frekuensinya relatif lebih stabil/ konstan.
2. Mesin stirling dapat bekerja dengan sumber energi panas yang bervariasi, termasuk bahan kimia, sinar surya (solar), limbah pertanian (sekam, tempurung kelapa), kayu bakar, berbagai produk minyak bakar (*Biomassa*, *Biofuel*), panas bumi, gas dan nuklir.
3. Perbedaan yang mencolok dengan mesin pembakaran *internal* adalah potensi untuk menggunakan sumber panas terbarukan pada mesin stirling lebih mudah dan biaya perawatannya lebih rendah.
4. Efisiensi teoritik yang cukup tinggi.

2.6.2 Kelemahan Mesin Stirling

1. Harga yang cukup mahal karena motor stirling ini masih jarang di produksi secara massal. Selain itu, harga yang mahal ini juga dipengaruhi karena untuk perancangan, produksi dan perakitan serta maintenance, memerlukan tenaga ahli, sehingga ongkosnya juga akan mahal.
2. Tingginya dimensi per output unit, artinya jika dibandingkan dengan internal combustion engine, untuk menghasilkan daya yang sama, motor stirling membutuhkan dimensi yang lebih besar.

2.7 Teori Schmidt

Dalam proses pembuatan sebuah prototipe mesin stirling, dibutuhkan proses perancangan. Proses perancangan tersebut meliputi perancangan termodinamika sebagai acuan dalam perancangan elemen mesin, pemilihan bahan dan penentuan dimensi dari prototipe mesin stirling tersebut. Salah satu teori yang biasa digunakan sebagai pendekatan model termodinamika mesin stirling adalah teori *schmidt*. Teori yang digunakan dalam penelitian ini merupakan teori *schmidt* yang dipublikasikan oleh koichi hitara, seorang ilmuan asal jepang. Teori ini merupakan teori yang paling sederhana dan sangat berguna untuk pengembangan mesin stirling. Teori ini berdasarkan pada ekspansi *isothermal* dan kompresi dari gas ideal.

2.7.1 Asumsi pada Teori Schmidt

Performasi dari mesin stirling dapat dikalkulasikan dari diagram P-V. Volume dari mesin juga dapat dengan mudah dihitung dari geometri internalnya. Jika volume, massa dari fluida kerja sudah dapat ditentukan, maka tekanan dapat dihitung menggunakan metode gas ideal seperti persamaan dibawah ini.

$$pV = mRT \quad (2.1)$$

dimana :

p = Tekanan (Pa)

V = Volume (m^3)

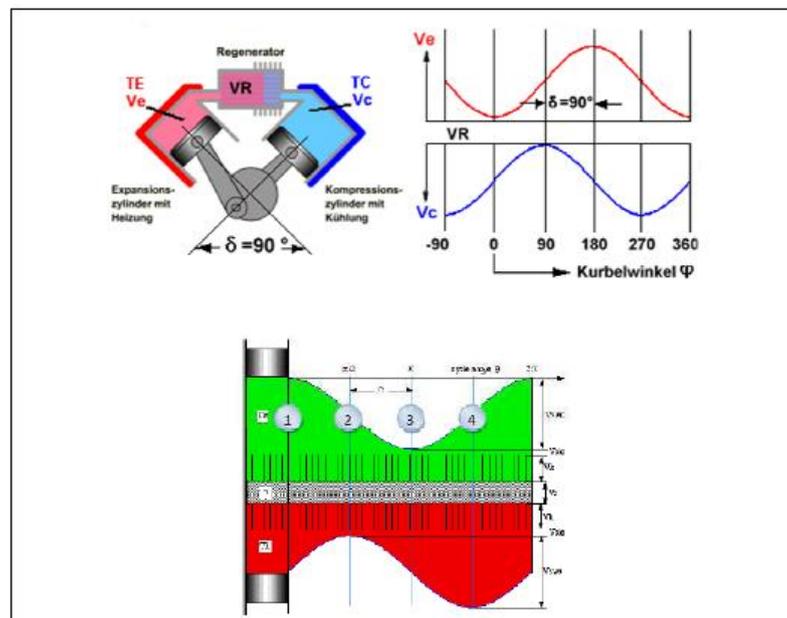
m = Massa (Kg)

R = Konstanta Gas (J/KgK)

T = Suhu (K)

Parameter-parameter mesin stirling dapat dihitung dengan menggunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

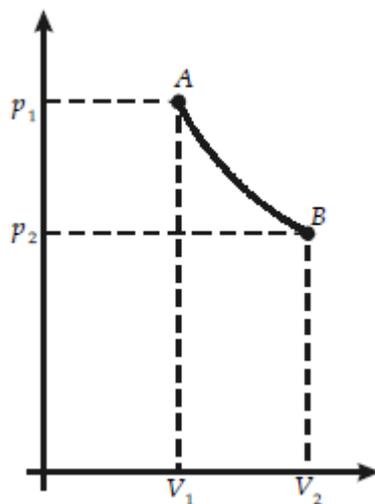
1. Tidak ada *pressure loss* dan tidak ada perbedaan internal *pressure*
2. Proses ekspansi dan proses kompresi berlangsung secara *isothermal*
3. Kondisi fluida kerja adalah udara sebagai gas ideal
4. Terjadi regenerasi sempurna
5. Volume sisi pada silinder panas menjaga temperatur gas pada silinder panas (T_E), volume sisa pada silinder dingin menjaga temperatur gas pada silinder dingin (T_C) selama siklus.
6. Temperatur pada regenerator adalah rata-rata temperatur ekspansi dan temperature kompresi.
7. Volume ekspansi (V_E) dan volume kompresi (V_C) berubah berdasarkan fungsi sinusoidal.



Gambar 2.8 Volume Sebagai Fungsi Sinusoidal

2.8 Mesin Carnot

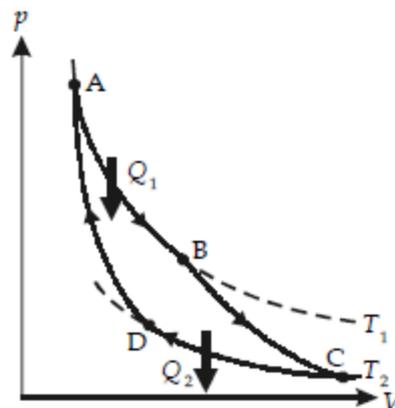
Keadaan suatu sistem dalam termodinamika dapat berubah-ubah, berdasarkan percobaan besaran-besaran keadaan sistem tersebut. Namun, besaran-besaran keadaan tersebut hanya berarti jika sistem berada dalam keadaan setimbang. Misalnya, jika Anda mengamati suatu gas yang sedang memuai di dalam tabung, temperatur dan tekanan gas tersebut di setiap bagian tabung dapat berubah-ubah. Oleh karena itu, Anda tidak dapat menentukan suhu dan temperatur gas saat kedua besaran tersebut masih berubah. Agar dapat menentukan besaran-besaran keadaan gas, gas harus dalam keadaan *reversibel*. Apakah yang dimaksud dengan proses reversibel? Proses reversibel adalah suatu proses dalam sistem di mana sistem hampir selalu berada dalam keadaan setimbang.



Gambar 2.9 Perubahan keadaan gas dalam siklus reversibel

Perhatikanlah Gambar 9.8. Dari grafik p - V tersebut, suatu gas mengalami perubahan keadaan dari A ke B. Diketahui bahwa pada keadaan A sistem memiliki tekanan p_1 dan volume V_1 . Pada tekanan B, tekanan sistem berubah menjadi p_2 dan volumenya menjadi V_2 . Jika gas tersebut mengalami proses reversibel, keadaan gas tersebut dapat dibalikkan dari keadaan B ke A dan tidak

ada energi yang terbuang. Oleh karena itu, pada proses reversibel, kurva p - V yang dibentuk oleh perubahan keadaan sistem dari A ke B dan dari B ke A adalah sama. Dalam kenyataannya, sulit untuk menemukan proses reversibel karena proses ini tidak memperhitungkan energi yang hilang dari dalam sistem (misalnya, gesekan). Namun, proses reversibel memenuhi Hukum Pertama Termodinamika. Tahukah Anda yang dimaksud dengan siklus termodinamika? Siklus termodinamika adalah proses yang terjadi pada sistem sehingga akhirnya sistem kembali pada keadaan awalnya. Namun, apakah energi kalor dapat seluruhnya diubah menjadi energi mekanik? Adakah mesin yang dapat mengubah kalor seluruhnya menjadi usaha? Pada tahun 1824 seorang ilmuwan Prancis, Sadi Carnot (1796 – 1832), mengemukakan model mesin ideal yang dapat meningkatkan efisiensi melalui suatu siklus, yang dikenal dengan siklus Carnot. Mesin ideal Carnot bekerja berdasarkan mesin kalor yang dapat bekerja bolak-balik (*reversibel*), yang terdiri atas empat proses, yaitu dua proses isothermal dan dua proses adiabatik.



Gambar 2.10 Siklus Carnot

Pada gambar tersebut suatu gas ideal berada di dalam silinder yang terbuat dari bahan yang tidak mudah menghantarkan panas. Volume silinder tersebut

dapat diubah dengan cara memindahkan posisi pistonnya. Untuk mengubah tekanan gas, diletakkan beberapa beban di atas piston. Pada sistem gas ini terdapat dua sumber kalor yang disebut reservoir suhu tinggi (memiliki suhu 300 K) gas memiliki temperatur tinggi (300 K), tekanan tinggi (4 atm), dan volume rendah (4 m^3). Berikut urutan keempat langkah proses yang terjadi dalam siklus Carnot.

- a. Pada langkah, gas mengalami ekspansi isothermal. Reservoir suhu tinggi menyentuh dasar silinder dan jumlah beban di atas piston dikurangi. Selama proses ini berlangsung, temperatur sistem tidak berubah, namun volume sistem bertambah. Dari keadaan 1 ke keadaan 2, sejumlah kalor (Q_1) dipindahkan dari reservoir suhu tinggi ke dalam gas.
- b. Pada langkah kedua, gas berubah dari keadaan 2 ke keadaan 3 dan mengalami proses ekspansi adiabatik. Selama proses ini berlangsung, tidak ada kalor yang keluar atau masuk ke dalam sistem. Tekanan gas diturunkan dengan cara mengurangi beban yang ada di atas piston. Akibatnya, temperatur sistem akan turun dan volumenya bertambah.
- c. Pada langkah ketiga, keadaan gas berubah dari keadaan 3 ke keadaan 4 melalui proses kompresi isothermal. Pada langkah ini, reservoir suhu rendah (200 K) menyentuh dasar silinder dan jumlah beban di atas piston bertambah. Akibatnya tekanan sistem meningkat, temperaturnya konstan, dan volume sistem menurun. Dari keadaan 3 ke keadaan 4, sejumlah kalor (Q_2) dipindahkan dari gas ke reservoir suhu rendah untuk menjaga temperatur sistem agar tidak berubah.
- d. Pada langkah keempat, gas mengalami proses kompresi adiabatik dan keadaannya berubah dari keadaan 4 ke keadaan 1. Jumlah beban di atas piston

bertambah. Selama proses ini berlangsung, tidak ada kalor yang keluar atau masuk ke dalam sistem, tekanan sistem meningkat, dan volumenya berkurang. Menurut kurva hubungan p - V dari siklus Carnot, usaha yang dilakukan oleh gas adalah luas daerah di dalam kurva p - V siklus tersebut. Oleh karena siklus selalu kembali ke keadaannya semula, $\Delta U_{\text{siklus}} = 0$ sehingga persamaan usaha siklus (W_{siklus}) dapat dituliskan menjadi

$$W_{\text{siklus}} = \Delta Q_{\text{siklus}} = (Q_1 - Q_2) \quad (2.2)$$

Dimana:

$$W_{\text{siklus}} = \text{Usaha}$$

$$Q_1 = \text{kalor yang diserap sistem}$$

$$Q_2 = \text{kalor yang dilepaskan sistem.}$$

Ketika mesin mengubah energi kalor menjadi energi mekanik (usaha). Perbandingan antara besar usaha yang dilakukan sistem (W) terhadap energi kalor yang diserapnya (Q_1) disebut sebagai *efisiensi mesin*. Persamaan matematis efisiensi mesin ini dituliskan dengan persamaan

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana :

$$\eta = \text{efisiensi mesin.}$$

Oleh karena usaha dalam suatu siklus termodinamika dinyatakan dengan $W = Q_1 - Q_2$ maka Persamaan (2.4) dapat dituliskan menjadi

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\% \quad (2.4)$$

Pada mesin Carnot, besarnya kalor yang diserap oleh sistem (Q_1) sama dengan temperatur reservoir suhu tingginya (T_1). Demikian juga, besarnya kalor

yang dilepaskan sistem (Q_2) sama dengan temperatur reservoir suhu rendah mesin Carnot tersebut. Oleh karena itu, Persamaan (2.5) dapat dituliskan menjadi

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana:

η : efisiensi mesin Carnot

T_1 : suhu reservoir bersuhu tinggi (K)

T_2 : suhu reservoir bersuhu rendah (K)

Dari Persamaan (2.5) tersebut, Anda dapat menyimpulkan bahwa efisiensi mesin Carnot dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan temperatur reservoir suhu tinggi atau menurunkan temperatur reservoir suhu rendah.

2.9 Generator

Generator adalah salah satu komponen yang dapat mengubah energi gerak menjadi energy listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan teori medan elektronik. Poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetic permanen. Setelah itu disekeliling porosnya terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya terjadi perubahan tegangan dan arus listrik tertentu.

Tegangan atau arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik. Berdasarkan arus yang disalurkan generator dibagi menjadi dua jenis, yaitu generator AC (bolak balik) dan generator DC (searah). Generator AC atau altenator bekerja pada prinsip yang sama dari induksi elektromagnetik sebagai generator DC. Arus bolak-balik dapat dihasilkan dari perputaran lilitan pada medan magnet atau perputaran medan magnet pada lilitan stationer

(seimbang atau tidak berubah). Nilai dari tegangan tergantung pada jumlah perputaran pada lilitan, kekuatan medan dan kecepatan rotasi lilitan/medan magnet (Zuhal, 1998).

2.9.1 Generator Arus Bolak-Balik (AC)

Sebuah generator arus bolak balik mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam pembelajaran secara magnetik, menunjukkan arus yang dibawa konduktor menghasilkan sebuah daerah magnet sekelilingnya. Ini juga akan merubah medan magnet yang akan menghasilkan elektromagnetik pada konduktor. Jika sebuah konduktor berada dalam medan magnet atau diantara medan magnet itu dan pergerakan konduktor, ini yang disebut dengan induksi elektromagnetik. Listrik arus bolak balik (listrik AC – alternating current) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang sinusoida, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien. Karakteristik dari daya yang dihasilkan oleh generator arus bolak-balik adalah nilai faktor daya.

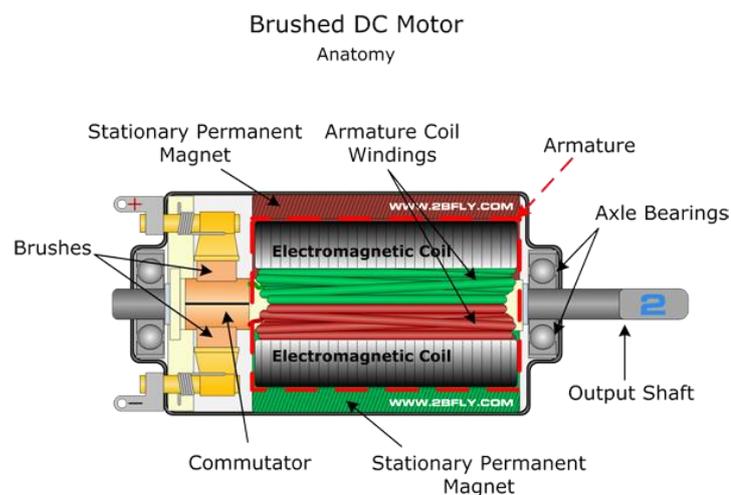
Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu atau daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu atau daya total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang di transfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian sehingga, dengan

beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA). Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fase antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.

2.9.2 Generator Arus Searah (DC)

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC atau arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu :

1. Generator penguat terpisah
2. Generator shunt
3. Generator kompon



Gambar 2.11 Konstruksi Generator DC

Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4 kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyerah, bearing dan rumah generator atau casing, serta bagian rotor. Generator DC terdiri dari dua bagian, yaitu stator bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

Syarat untuk dapat dibangkitkan Gaya Gerak Listrik (GGL) adalah:

1. Harus ada konduktor (hantaran kawat)
2. Harus ada medan magnetik
3. Harus ada gerak atau perputaran dari konduktor dalam medan, atau ada fluksi yang merubah dan memotong konduktor itu.

Untuk perolehan arus searah dari tegangan bolak-balik, meskipun tujuan utamanya adalah pembangkitan tegangan searah, tampak bahwa tegangan kecepatan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar merupakan tegangan bolak-balik. Bentuk gelombang yang berubah-ubah tersebut karena harus disearahkan. Untuk mendapatkan arus searah dari arus bolak-balik dengan menggunakan saklar, komutator dan dioda.

2.10 Bahan Bakar

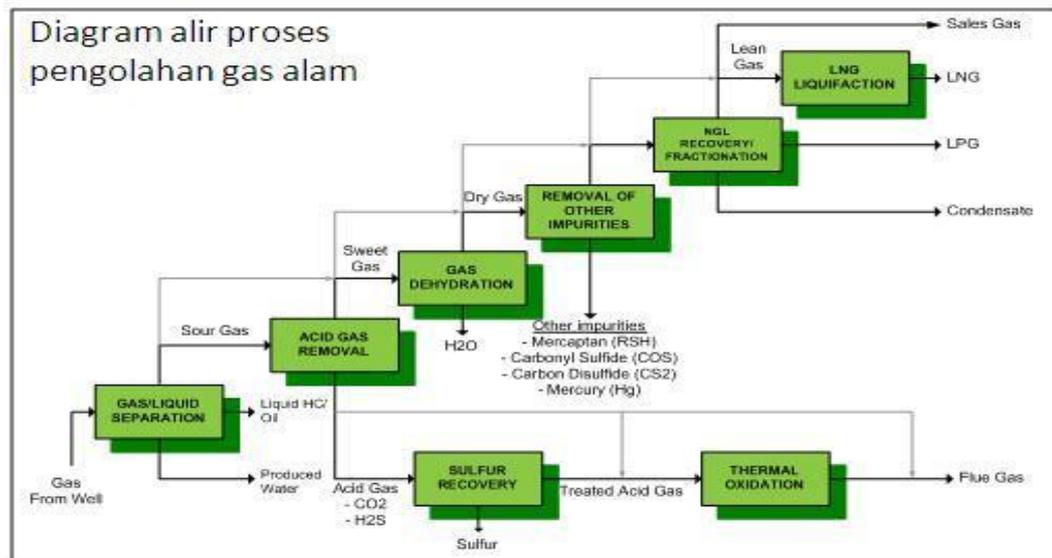
2.10.1 Sejarah Gas Alam dan Potensinya

Gas alam pada awalnya tidak diakui sebagai sumber energi tetapi dianggap sebagai gangguan karena sering ditemukan selama proses menggali sumur untuk air atau air garam di akhir 800-an. Gas alam kemudian mulai dikenal di benua

Amerika diawal abad 20 ketika digunakan sebagai pengganti “coal gas” (gas yang diproduksi dari pemanasan batubara) untuk bahan bakar sistem pemanas ruangan. Penemuan pipa seamless sebagai bahan pipa dan aplikasi metode pengelasan pipa telah mengatasi masalah dalam transportasi gas alam. Kemajuan teknologi untuk eksplorasi, eksploitasi dan pengolahan gas alam juga telah menjadi pemicu pertumbuhan penggunaan gas alam terutama untuk kebutuhan pembangkit tenaga listrik, industri domestik, transportasi, pupuk, dan sebagainya. Penggunaan gas alam di Indonesia sendiri dimulai tahun 1974 di Cirebon oleh Perusahaan Gas Negara (PGN) sebagai pengganti “coal gas” untuk sektor rumah tangga, komersial dan industri. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2014 menunjukkan Indonesia memiliki cadangan gas alam mencapai 103,3 triliun kaki kubik atau setara dengan 2,9 triliun liter bahan bakar minyak (BBM). Data dari BP Statistical Review of World Energy tahun 2015, kapasitas produksi gas alam Indonesia pada tahun 2014 adalah 73.4 milyar m³ dengan konsumsi Indonesia 38.4 milyar m³.

2.10.2 Pengolahan Gas Alam

Gas alam terdiri dari gas-gas hidrokarbon seperti metana, etana, propana, butana, dan sejumlah kecil hidrokarbon yang lebih berat. Gas-gas lain seperti karbon dioksida, hidrogen sulfida, nitrogen oksida, merkaptan, uap air dan beberapa jejak senyawa organik dan anorganik juga hadir dalam gas alam. Pengolahan gas alam diperlukan untuk mendapatkan spesifikasi gas alam sesuai dengan persyaratan produk yang baku, melindungi peralatan pengolahan gas alam serta memastikan gas buang dari pengolahan gas alam tidak merusak lingkungan.



Gambar 2.12 Diagram Alir Proses Pengolahan Gas Alam

Proses pemisahan dari gas pengotor atau purifikasi antara lain meliputi:

Pemisahan fasa cair dari gas umpan, Pemisahan fasa cair dari gas alam dilakukan untuk menghindari cairan pengotor dan atau condensate masuk dalam unit pemisahan gas asam karena akan mengakibatkan foaming. Pemisahan pada umumnya dilakukan dengan menggunakan 2 phase vessel separator, cooler, scrubber, dan atau filter. Fasa cair hasil dari pemisahan selanjutnya dipisahkan antara fasa air dan fasa minyak, dimana masing-masing selanjutnya diolah dalam unit pengolahan air terproduksi (produced water treatment) dan pengolahan kondensat (condensate treatment) untuk mencapai spesifikasi yang disyaratkan oleh lingkungan maupun pemilik proyek. Pemisahan gas asam/acid gas (pada umumnya meliputi CO₂ serta sulfur komponen meliputi antara lain H₂S dan mercaptan) dari gas alam.

Pemisahan air dari gas alam, pemisahan pengotor lainnya apabila ada (mercury, RSH, COS, CS₂). Sulfur recovery. Acid gas (CO₂ dan H₂S) dari hasil pemisahan gas pengotor dari gas alam selanjutnya diolah dalam sulfur recovery

unit untuk memisahkan H₂S dari acid gas dan mengolahnya menjadi sulfur element baik dalam bentuk cake maupun pellet. Selanjutnya gas CO₂ yang masih mengandung sebagian H₂S dibakar dalam thermal oxidizer unit untuk meyakinkan bahwa kandungan H₂S sudah cukup aman bagi lingkungan. Penentuan teknologi pengolahan yang akan diaplikasikan dalam suatu pabrik pengolahan gas dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini :

Komposisi gas pengotor Komposisi gas pengotor gas di Indonesia sangat bervariasi tergantung pada reservoirnya. Sebagai contoh kadar CO₂ di Indonesia bisa bervariasi dari sekitar 5 % -vol sampai lebih dari 30 %-vol. Produk yang diinginkan. Produk akhir dari pengolahan gas alam tergantung pada lokasi pengguna dan jenis penggunaannya sehingga metoda transportasi menjadi hal yang penting. Metoda transportasi yang umum adalah peyaluran melalui jalur perpipaan (pipeline), transportasi dalam bentuk Liquefied Natural Gas (LNG) dengan kapal tanker LNG untuk pengangkutan jarak jauh dan transportasi dalam bentuk Compressed Natural Gas (CNG) dengan road tanker atau kapal tanker CNG, untuk jarak dekat dan menengah (antar pulau).

2.10.3 Perbedaan Gas Alam, LPG, LNG dan CNG



Gambar 2.13 Kilang Gas

Pernahkan anda membayangkan selama ini bagaimana cara ibu kita memasak di dapur? Sebagian besar ibu-ibu di daerah perkotaan saat ini memasak menggunakan kompor gas. Tapi apakah selama ini kita hanya mengenal gas yang itu-itu saja? Selama ini kita mengenal gas yang disalurkan adalah gas LPG dalam bentuk tabung-tabung. Tapi apakah anda tahu bahwa ada beberapa gas lainnya yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak? Ada Gas alam yang bisa digunakan untuk memasak di rumah-rumah, hotel, restoran dan industry. Tapi apakah anda juga mengetahui kalau ada lagi yang namanya LNG, CNG?

Di sini saya akan berbagi mengenai bahan bakar yang biasa ibu kita gunakan dalam memasak.

1. LPG (*liquified petroleum gas*)

LPG adalah gas minyak bumi yang dicairkan dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}). Dalam

kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (thermal expansion) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana LPG berbentuk cair, dinamakan tekanan uap-nya, juga bervariasi tergantung komposisi dan temperatur; sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi butana murni pada 20 °C (68 °F) agar mencair, dan sekitar 2.2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55 °C (131 °F).



Gambar 2.14 Contoh gambar tabung LPG

Karena dalam tekanan atmosfer LPG berbentuk gas, untuk dapat memudahkan proses distribusi dan transportasi gas ini dilakukan rekayasa fasanya menjadi ke bentuk cair dengan memberi tekanan. Dalam keadaan cair, LPG mudah didistribusikan dan ditransportasi dalam tabung ataupun dalam tanki. Oh iya kalau kita sering melihat bahwa LPG tetapi tulisannya LPG, maka LPG itu

adalah merk dagang dari PT Pertamina, sama seperti pertamax atau premium yang menjadi merk dagang Pertamina. Karena ada juga perusahaan lain yang menjual LPG dalam bentuk tabung tetapi merknya berbeda misalnya ada Blue Gaz. Sejak tahun 1968, masyarakat Indonesia telah diperkenalkan dengan LPG (Liquefied Petroleum Gas) dengan brand ELPIJI yang dikeluarkan oleh Pertamina. Pada awalnya LPG dipasarkan Pertamina untuk memanfaatkan produk samping dari hasil pengolahan minyak di kilang, sekaligus sebagai bahan bakar alternatif yang lebih bersih untuk memasak selain minyak tanah.

2. GAS ALAM

GAS ALAM sering juga disebut sebagai gas Bumi, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana CH_4 . GAS ALAM dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas Bumi dan juga tambang batu bara. Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Sumber biogas dapat ditemukan di rawa-rawa, tempat pembuangan akhir sampah, serta penampungan kotoran manusia dan hewan. GAS ALAM itu berbeda dengan LPG, mulai dari komposisi nya yang berbeda (LPG -> Propane & butane, GAS ALAM -> Metana). Dalam melakukan distribusi dan transportasinya pun berbeda dengan LPG. Jika LPG menggunakan tabung-tabung Gas dan berbentuk fase Cair, kalau GAS ALAM disalurkan menggunakan pipa pipa GAS. Proses distribusi gas alam tidak perlu memakai tabung gas, karena seperti PAM, memakai pipa, ada meteran gas juga.



Gambar 2.15 meter Gas Rumah Tangga



Gambar 2.16 Pipa Gas (Pipa Gas Alam)

Enaknya kalau pakai gas alam, kita tidak perlu kerepotan untuk gotong-gotong tabung gas (lumayan berat juga kalau gotong-gotong, bisa encok) apa lagi kita pasti selalu butuh untuk memasak. Pernah ga lagi enak-enak masak, malam-malam, eh gas nya habis (mana sudah lapar dan belum matang). Kalau menggunakan GAS alam, kita tidak perlu gotong dan ketakutan akan gas nya habis, karena supply gas akan mengalir terus (sebab lewat pipa, terus mengalir tidak pakai gotong). Untuk mengukurnya ada meteran gas yang akan mengukur

pemakaian gas kita. Apa lagi kalau kita tinggal di Rusun atau Apartemen, apa iya kita mau angkat-angkat itu tabung 12 kg (encok dah) akan leboh efektif jika memakai pipa, jadi sampai langsung ke kompor tak pakai gotong-gotong.

3. CNG (*Compressed natural gas*)

Compressed natural gas, Gas alam terkompresi, ya CNG adalah Gas Alam juga, sama-sama metana juga, jadi CNG itu adalah Gas alam, yang terkompresi. CNG dibuat dengan melakukan kompresi metana (CH_4) yang diekstrak dari gas alam. CNG disimpan dan didistribusikan dalam bejana tekan, biasanya berbentuk silinder. Sejalan dengan semakin meningkatnya harga minyak dan kesadaran lingkungan, CNG saat ini mulai digunakan juga untuk kendaraan penumpang dan truk barang berdaya ringan hingga menengah. Jadi kalau ada yang bingung CNG dan gas alam bedanya apa, ya sebenarnya isinya sama aja, gas Alam, tetapi kalau Gas alam biasanya melalui pipa, kalau CNG biasanya menggunakan tabung-tabung CNG. Kalau bentuk CNG ini masih dalam bentuk fase Gas, tetapi CNG mempunyai tekanan yang berbeda dari gas Pipa. Tekanan Gas CNG adalah sekitar 200 Bar. Ya 200 Bar. Tekanan yang tinggi tersebut adalah rekayasa teknik untuk dapat mengangkut Gas alam dalam jumlah banyak tetapi dengan ruangan yang tidak terlalu besar (udah tahu kan kalau gas itu compressable, beda sama benda padat atau cair). Maka dijadikanlah tabung CNG yang bertekanan. Penggunaan CNG bisa untuk Industri-industri yang ingin menggunakan gas alam, tetapi belum ada jaringan pipa gas di daerahnya, jadi bisa tetap memakai gas alam yang ramah lingkungan melalui CNG.



Gambar 2.17 Tabung Gas CNG

Gas alam dalam bentuk CNG saat ini juga sudah bisa dipakai untuk kendaraan lho, contohnya saja Bus Trans Jakarta dan Bajaj. Kalau pakai minyak (solar, premium dll) sisa pembakaran akan menghasilkan polusi, tetapi kalau memakai gas alam sisa pembakaran bisa lebih baik lagi, ramah lingkungan Hidup GO GREEN, demi bumi yang lebih baik.



Gambar 2.18 Bajaj Gas (beda sama yang orange)

Untuk yang sering menggunakan Bajaj, pasti terasa deh bedanya naik baja yang warna orange (bajaj 2 tak, bau asap, brisik, polusi treng teng geng teng) dengan bajaj gas yang warna biru, lebih calm, gak berisik dan ramah lingkungan.

Oh iya untuk harga CNG transportasi adalah sekitar Rp 3.100 Lsp. Ada yang tahu LSP itu apa? LSP adalah Liter setara premium.

4. LNG (Liquefied natural gas)

LNG, Liquefied natural gas, Gas alam yang dicairkan adalah gas alam yang telah diproses untuk menghilangkan pengotor (impuritas) dan hidrokarbon fraksi berat dan kemudian dikondensasi menjadi cairan pada tekan atmosfer dengan mendinginkannya sekitar -160° Celcius. LNG ditransportasi menggunakan kendaraan yang dirancang khusus dan ditaruh dalam tangki yang juga dirancang khusus. LNG memiliki isi sekitar $1/640$ dari gas alam pada Suhu dan Tekanan Standar, membuatnya lebih hemat untuk ditransportasi jarak jauh di mana jalur pipa tidak ada. Ketika memindahkan gas alam dengan jalur pipa tidak memungkinkan atau tidak ekonomis, dia dapat ditransportasi oleh kendaraan LNG, di mana kebanyakan jenis tangki adalah membran atau "moss". Ya, LNG isinya ya Gas alam juga, sama aja. Gas alam. Lalu kenapa harus ada Gas pipa, CNG atau LNG sih/ jadi kalau LNG itu adalah salah satu bentuk rekayasa teknik untuk pengangkutan Gas alam. Kalau misalnya untuk jarak yang tidak terlalu jauh, masih bisa menggunakan CNG, tapi kalau untuk mengangkut jarak yang jauh, misalnya dari Papua ke Aceh, apakah memakai pipa? (waduh berapa besar biaya investasi membangun pipa gas). Rekayasa membuat gas alam menjadi fase cair adalah untuk dapat mengangkut banyak gas dalam sekali angkut. Karena dengan suhu yang -160° , 1 m^3 LNG sama dengan sekitar 640 m^3 Gas alam dalam suhu standar. Jadi dalam pengangkutan gas bisa lebih efektif.

Pengangkutan LNG juga menggunakan kapal yang khusus untuk LNG.



Gambar 2.19 kapal LNG

Kapal LNG juga ada tipenya kalau yang tipe moss itu yang ada bulatan-bulatannya, kalau yang membrane yang datar- datar aja.



Gambar 2.20 Kapal LNG Membrane

Jadi bayangin aja gan, itu kapal isinya gas alam yang dicairkan, dengan temperature -160° . LNG ini nantinya akan dijadikan gas kembali, regasifikasi, untuk dapat disalurkan melalui pipa ke rumah-rumah atau ke industry Gas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Jln. Mustafa Gg. VII No. 16 Glugur Darat I, Medan Timur, Medan Kota, Sumatera Utara. Waktu penelitian berlangsung selama lebih kurang 3 Bulan, dimulai dari perencanaan bahan, pembuatan material, pengujian dan pengambilan data pengujian.

3.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini memerlukan beberapa peralatan yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Peralatan pembuatan mesin stirling

Nama Bahan	Jumlah	Fungsi
Kaleng Cat	2 Buah	Tungku dan Penyangga
CD Bekas	3 Buah	Flywheel
Sepidol	1 Buah	Menggambar Pola
Tutup Pipa pvc	1 Buah	Silinder tenaga
Kawat	2 Buah	Penghubung poros stang Silinder, poros dan engkol flywheel
Generator DC 6 Volt	1 Buah	Pembangkit Listrik
Tutup Botol	2 Buah	Penghubung difragma Silinder
Balon	1 Buah	Diagfarhma Silinder Tenaga
Minuman kaleng	3 Buah	Silinder dan penyangga flywheel
Karet Gelang	2 Buah	Penahan Piston Power dan penghubung antara flywheel dengan Generator

Saklar	1 Buah	Menghubungkan dan Mematikan Beban
Kabel dan Kawat Tembaga	1 Buah	Penghubung Komponen
Lampu Senter 9 LED	1 Buah	Beban
Induktor Toroid	1 Buah	Trafo
Transistor	1 Buah	Penguat dan Penstabil Tegangan
Resistor	1 Buah	Mengatur tegangan dan arus listrik
Socket USB	1 Buah	Penghubung beban
Pipa Transparan 5 mm	1 Buah	Penyalur uap dan aksesories Lampu
Universal Joint	8 Buah	Pengikat
Peredam Knalpot	1 Buah	Piston Displacer
Kompor Portable	1 Buah	Pembakaran
Gunting	1 Buah	Memotong kaleng
Pisau	1 Buah	Memotong kaleng
Bor	1 Buah	Melubangi Kaleng
Tang	1 Buah	Memotong dan Melengkungkan Kawat
Lem	1 Buah	Alat perekat
Laptop	1 Unit	Hasil Penelitian
Multimeter	1 Unit	Mengukur V, I
Tachometer	1 Unit	Mengukur putaran Turbin
Thermometer	1 Unit	Mengukur Suhu Air
Pressure Gauge	1 Unit	Mengukur Tekanan Gas

3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

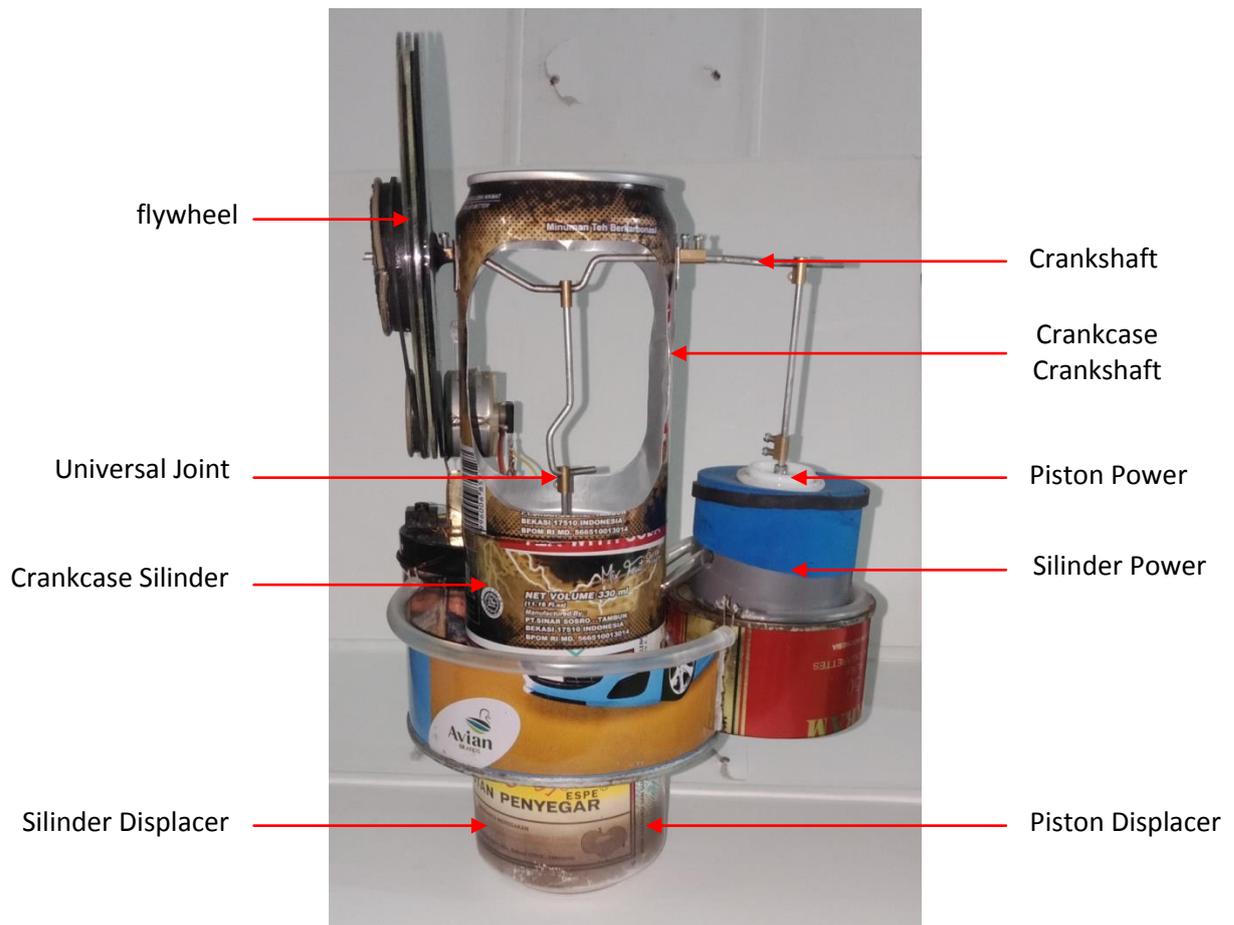
1. Konsultasi terhadap dosen yang bersangkutan dengan cara wawancara.
2. Menentukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan studi pustaka, guna memperoleh berbagai teori-teori dan konsep yang akan mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
3. Merancang dan menganalisa dari Mesin Stirling sederhana sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik berbahan bakar gas alam, sehingga didapat hasil yang dibutuhkan untuk diolah pada bab selanjutnya.

3.4 Pemilihan Tipe Mesin Stirling

Penelitian pada tugas akhir ini penulis memutuskan untuk memilih mesin stirling tipe gamma. Mesin Stirling tipe gamma memiliki susunan dimana *displacer* dan *power piston* terletak di silinder yang terpisah. *Displacer* menggerakkan gas kerja keluar dan masuk bagian panas dan dingin pada bagian mesin. Ruang bagian ujung dingin (*cold end*) termasuk bagian dingin dari *displacer* sama seperti *power piston*. Gas kerja bergerak melewati pendingin (*cooler*), regenerator dan pemanas (*heater*), bergerak maju dan mundur diantara dua silinder.

Keuntungan dari mesin stirling tipe gamma terletak pada bentuknya simpel karena yang memiliki 2 piston berada pada silinder yang terpisah, tetapi masih dihubungkan ke roda gigi yang sama.

3.5 Desain Komponen Mesin Stirling



Gambar 3.1 Desain Mesin Stirling

Setelah menentukan desain dan pemilihan tipe mesin stirling yang akan dibuat, selanjutnya dibuatlah desain komponen-komponen mesin stirling. Desain komponen ini terdiri dari :

3.5.1 *Crankcase Silinder*



Gambar 3.2 *Crankcase Silinder*

Crankcase silinder yang berbentuk bulat dengan panjang 45 mm dan diameter 65 mm. *Crankcase* silinder terbuat dari bahan material *alluminium*, bahan yang memiliki daya tahan panas terhadap silinder displacer (panas) yang mengalami pembakaran.

3.5.2 *Silinder Displacer*

Silinder *linier* sebagai komponen mesin yang dipasang pada sirip silinder (blok silinder) yang berfungsi sebagai tempat piston dan ruang bakar pada mesin otomotif. *Piston* yang bergerak bolak-balik mengakibatkan keausan pada dinding silinder linier bagian dalam, hal ini akan menimbulkan penambahan kelonggaran antara piston dan silinder, sehingga dapat menyebabkan kebocoran gas, tekanan kompresi berkurang dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang.



Gambar 3.3 Silinder *Displace*

3.5.3 Silinder *Power*



Gambar 3.4 Silinder *Power*

Silinder *power* yang berbentuk tabung atau silinder dengan panjang 40 mm, diameter luar 60 mm dan diameter dalam 54 mm. pada tengah silinder di buat lubang sebesar 5 mm dengan jarak 10 mm. Silinder *linier piston power* terbuat dari bahan material atom atau tutup pipa.

3.5.4 *Crankcase Crankshaft*

Pada bagian samping atas *crankcase crankshaft* di buat 2 buah lubang dengan diameter 3 mm yang berfungsi sebagai penyambung *flyweel* dan silinder *power*. *Crankcase crankshaft* terbuat dari bahan material *alluminium*.



Gambar 3.5 *Crankcase Crankshaft*

3.5.5 *Piston Displacer*

Piston displacer sebagai piston pembakaran yang berfungsi untuk memindahkan gas antara dua sisi permukaannya dan meneruskannya ke piston *power*.



Gambar 3.6 *Piston Displacer*

3.5.6 *Piston Power*

Gas kerja (panas) yang di dapat dari silinder displacer selanjutnya *Piston power* mengubah volume internal karena ekspansi dan kontraksi gas.



Gambar 3.7 *Piston Power*

3.5.7 *Universal Joint*

Universal joint dipakai agar poros selalu dapat berputar dengan lancar. Syarat *universal joint* harus dapat mengurangi resiko kerusakan *propeller* saat poros bergerak naik/turun, tidak berisik atau berputar dengan lembut, konstruksinya sederhana dan tidak mudah rusak.



Gambar 3.8 *Universal Joint*

3.5.8 *Flywheel*



Gambar 3.9 *FlyWheel*

Bahan material *flywheel* di ambil dari CD bekas yang mempunyai kriteria ringan untuk menambah daya putaran, *flywheel* ini diikat oleh baut di bagian *crankshaft*.

3.5.9 Crankshaft

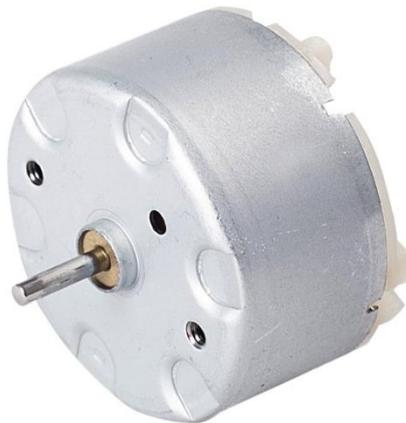
Fungsi dari *crankshaft* adalah mengubah gerakan naik turun yang dihasilkan oleh *piston* menjadi gerakan memutar yang nantinya akan diteruskan *Flywheel*.



Gambar 3.10 *Crankshaft*

3.5.10 Generator DC

Generator DC dapat di hubungkan pada *flywheel* mesin stirling yang berputar atau menghasilkan gerak mekanik.



Gambar 3.11 Generator DC

3.5.11 Lampu Senter 9 LED

Mesin yang sudah dipastikan nilai putaran (rpm) nya dengan *temperature* tertentu dapat di sesuaikan generator DC yang digunakan untuk mesin tersebut dan di tambahkan lampu LED sebagai outputnya,



Gambar 3.12 Lampu Senter 9 LED

3.6 Perancangan Mesin Stirling

Untuk merancang mesin stirling sebagai pembangkit listrik mengacu pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Desain yang sederhana.
2. Mudah dalam pembuatan.
3. Ketersediaan bahan baku untuk pembuatan.
4. Kemampuan menghasilkan kecepatan putar dan daya yang cukup baik.
5. Biaya pembuatan murah.
6. Memiliki efisiensi yang baik.
7. Dapat digunakan pada suhu pemanasan yang rendah.

Tipe gamma memiliki silinder tenaga atau power piston berada disamping dari silinder utama mesin yang biasanya dihubungkan oleh pipa atau saluran udara sebagai ruang untuk menyalurkan tekanan udara, namun pada penelitian ini,

silinder tenaga diletakkan diatas silinder utama dan tanpa menggunakan pipa atau saluran penghubung. Gas tetap dapat mengalir bebas karena masih berada dalam satu tubuh. Konfigurasi jenis ini menghasilkan rasio kompresi lebih rendah, tetapi mekanis ini cukup sederhana dalam suhu pemanasan yang rendah. Sedangkan tipe alpha yang menggunakan dua silinder dengan ukuran yang sama dan memiliki keunggulan rasio power to volume yang tinggi, namun masih terdapat masalah teknis, yaitu apabila suhu piston tinggi biasanya panas akan merambat ke pipa pemisah silinder. Untuk mesin stirling dengan tipe beta sendiri sebenarnya hampir sama konstruksinya dengan tipe gamma, hanya saja terdapat perbedaan pada penempatan silinder piston yang ditempatkan pada sisi atas silinder utama. Namun secara teknis, ukuran silinder power piston harus diperhitungkan dengan baik karena komponen penyusunnya harus dibuat secara permanen agar konstruksinya kuat dan dapat mengisolasi udara agar tidak keluar.

3.7 Langkah-langkah Pembuatan Mesin Stirling

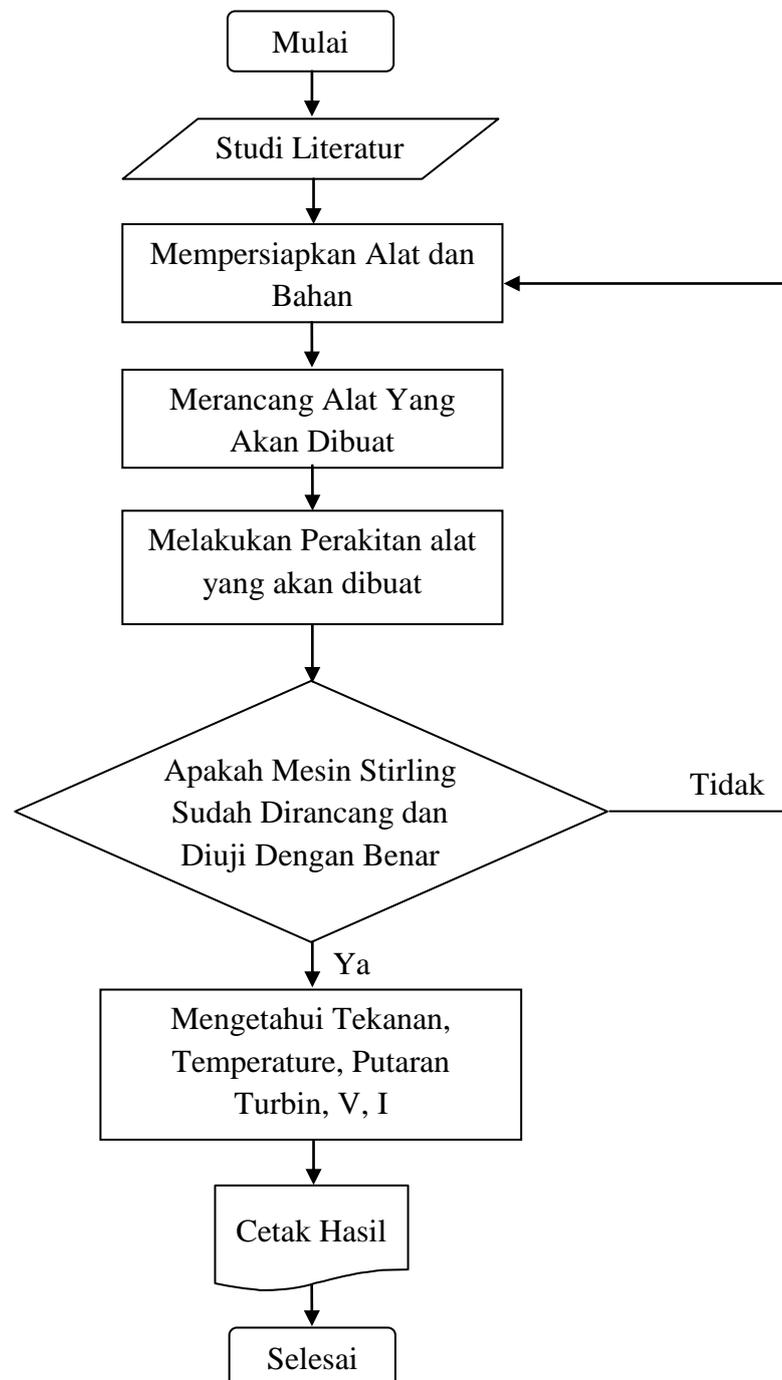
Dalam pembuatan purwarupa pembangkit listrik ini, maka dibuatlah dua bagian komponen yang akan tersusun sebagai suatu system kerja, yaitu pembuatan mesin stirling sebagai pembangkit listrik dan silinder pengumpul panas sebagai media pengumpul panas. Sebagian bahan untuk membuat mesin stirling maupun silinder pengumpul panas didaur ulang dari barang bekas yang tujuannya untuk memanfaatkan barang yang sudah tidak terpakai lagi. Hal ini bertujuan untuk mempertegas penelitian ini yang bertujuan untuk membuat pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan. tahap selanjutnya adalah membuat mesin stirling sesuai dengan desain yang telah direncanakan.

1. Membuat silinder power dan melubangi sisi dingin silinder.

2. Membuat silinder displacer dan penahan stang poros piston displacer.
3. Membuat piston power yang berfungsi sebagai piston Displacer.
4. Membuat flywheel.
5. Membuat poros dan penyangga flywheel.
6. Membuat engkol poros flywheel.
7. Membuat piston displacer.
8. Menghubungkan piston displacer dan piston power ke engkol poros flywheel.
9. Melubangi bagian tengah kaleng cat sebesar minuman kaleng.
10. Mensolder komponen agar terhubung dengan generator.
11. Menghubungkan semua bagian mesin stirling menjadi satu sistem kerja.

3.8 Diagram Alir Penelitian (Flowchart)

Adapun diagram alir (*Flowchart diagram*) untuk mempermudah memahami penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.13 Diagram Alir (Flowchart)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dalam bab ini akan dibahas tentang hasil pengamatan secara keseluruhan dari penelitian ini ditampilkan dalam bentuk tabel data dan grafik. Data yang ditampilkan adalah nilai dari 2 ketinggian tungku yaitu 9.5 cm dan 16 cm. Pengujian dilakukan pada besar dan kecilnya api. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan yang terdapat pada data pengamatan.

4.2 Pembahasan

Hasil pengamatan secara keseluruhan dari penelitian ini ditampilkan dalam bentuk tabel data dan grafik. Data yang ditampilkan adalah nilai dari perbedaan Besar kecilnya api, kemudian dari data tersebut dibuat grafik hubungan yang terdapat pada data terhadap ketinggian tungku. Data-data tersebut terdapat pada Tabel 4.1 s/d 4.3 dan Gambar Grafik 4.1 s/d 4.8 sebagai berikut:

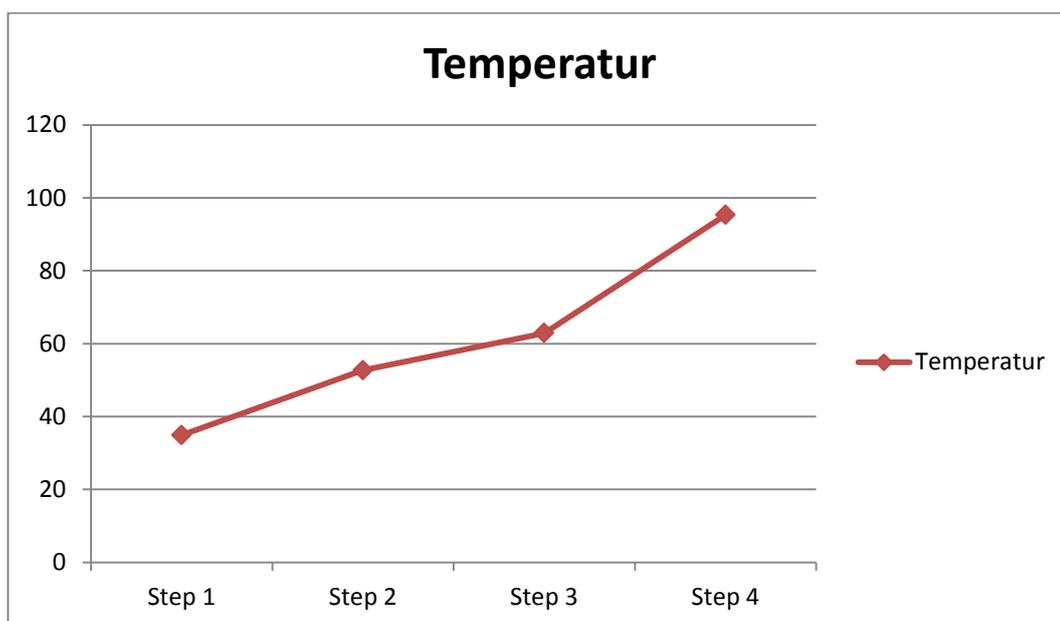
4.2.1 Hasil Pengukuran Pada Tinggi Tungku 9,5 cm

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari temperature, putaran Turbin, tegangan, dan arus yang didapat pada tekanan gas sebesar 248,21 Kpa dengan ketinggian tungku 9,5 cm. Pada pengujian tinggi tungku 9,5 cm hasil di tujukan pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Data pengamatan pada tinggi tungku 9,5 cm

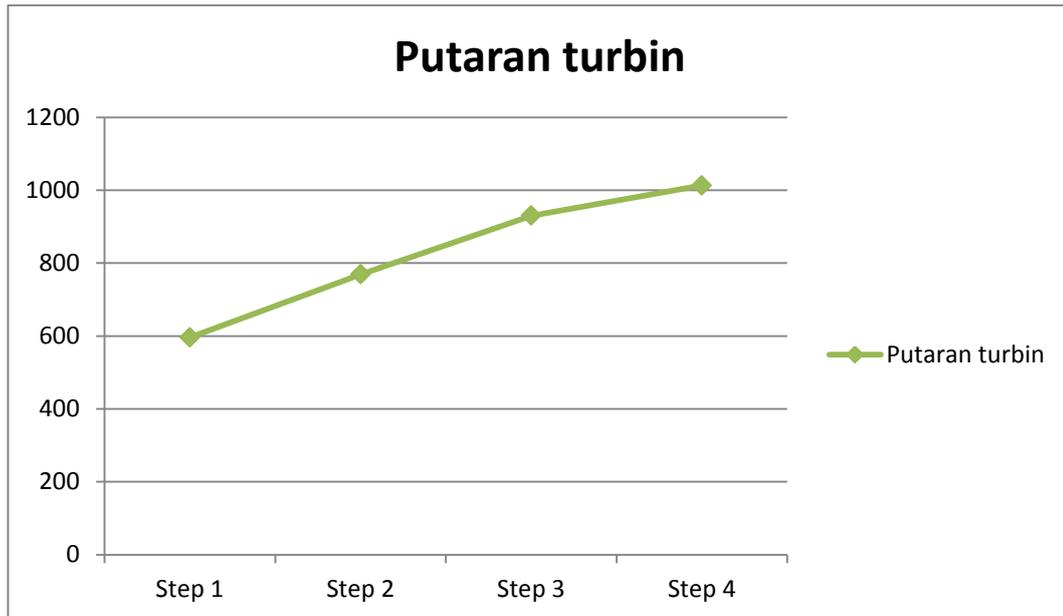
No	Besar Kecil Api	Temperatur	Putaran Turbin	Tegangan (V)	Arus (I)
1	Step 1	43,3°C	596 Rpm	0.665 V	0,004 A
2	Step 2	48°C	769 Rpm	0.844 V	0,007 A
3	Step 3	53°C	930 Rpm	0,897 V	0,009 A
4	Step 4	59,2°C	1013 Rpm	0,928 V	0,010 A

Dari data Tabel 4.1 nilai temperatur terhadap besar api pada tinggi tungku 9,5 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.1:



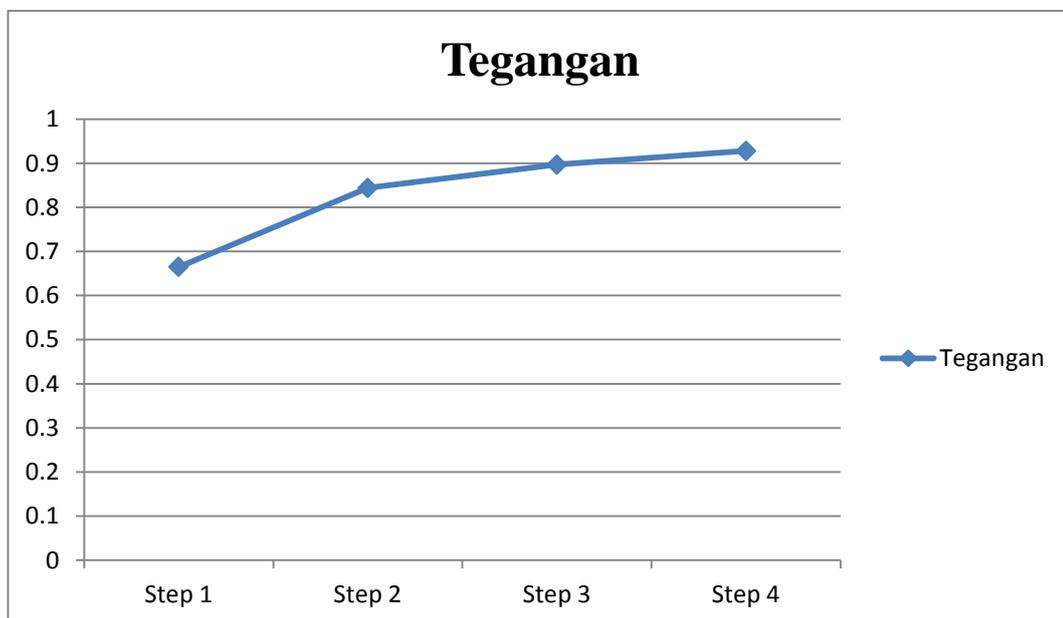
Gambar 4.1 Grafik Nilai Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 9,5 Cm

Dari data Tabel 4.1 nilai putaran turbin terhadap Besar Api pada tinggi tungku 9,5 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.2:



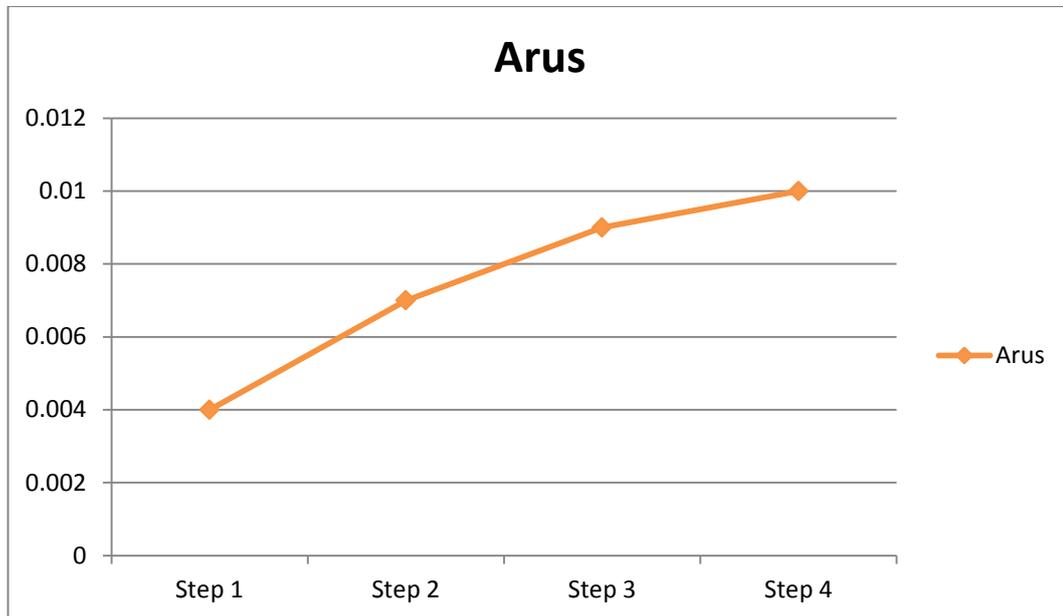
Gambar 4.2 Grafik Nilai Putaran Turbin Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 9,5 Cm

Dari data Tabel 4.1 nilai tegangan terhadap Besar Api pada tinggi tungku 9,5 cm dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.3:



Gambar 4.3 Grafik Nilai Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 9,5 Cm

Dari data Tabel 4.1 nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 9,5 cm dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.4:



Gambar 4.4 Grafik nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 9,5 cm

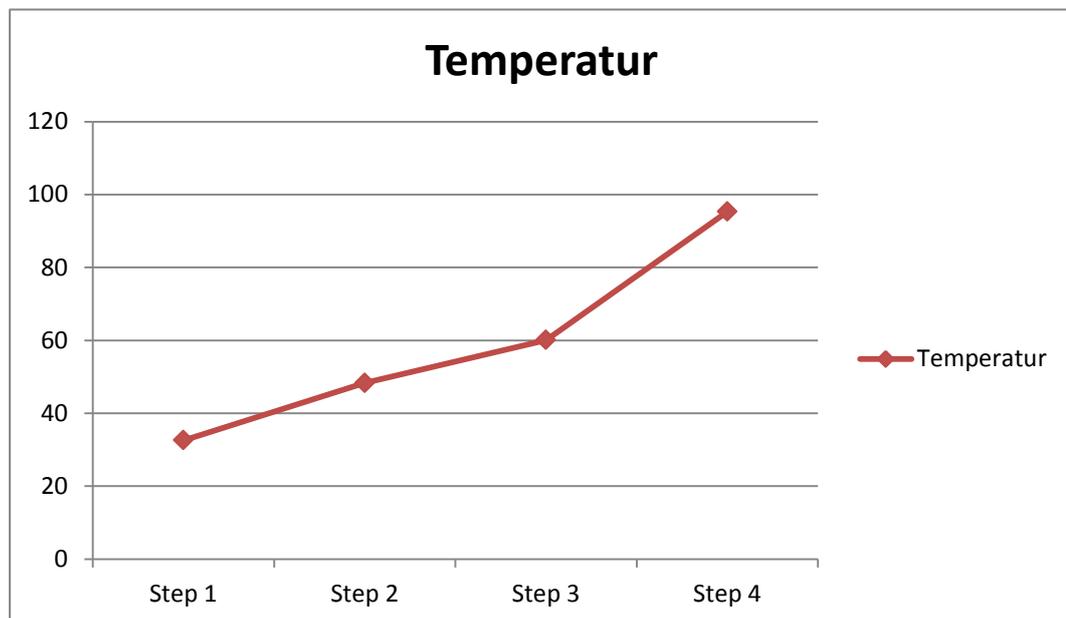
4.2.2 Hasil Pengukuran Pada Tinggi Tungku 16 cm

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari temperature, putaran Turbin, tegangan, dan arus yang didapat pada tekanan gas sebesar 248,21 Kpa dengan ketinggian tungku 16 cm. Pada pengujian tinggi tungku 16 cm hasil di tujukan pada Tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Data pengamatan pada tinggi tungku 16 cm

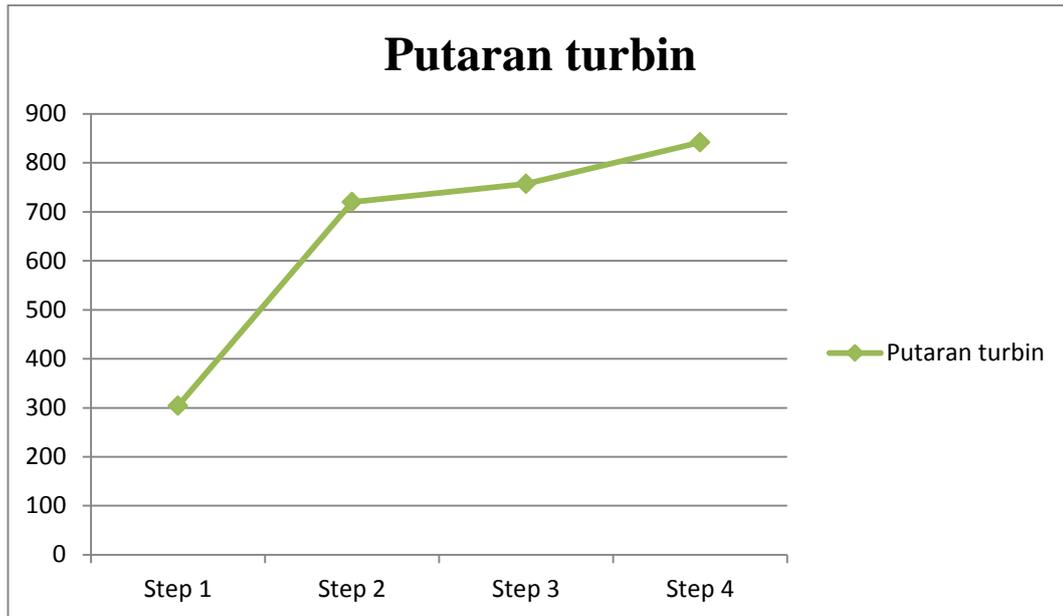
No	Besar Kecil Api	Temperatur	Putaran Turbin	Tegangan (V)	Arus (I)
1	Step 1	38°C	304 Rpm	0,585 V	0,004 A
2	Step 2	45,5°C	720 Rpm	0,766 V	0,006 A
3	Step 3	49,2°C	757 Rpm	0,816 V	0,007 A
4	Step 4	52,3°C	842 Rpm	0,853 V	0,008 A

Dari data Tabel 4.2 nilai temperatur terhadap besar api pada tinggi tungku 16 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.5:



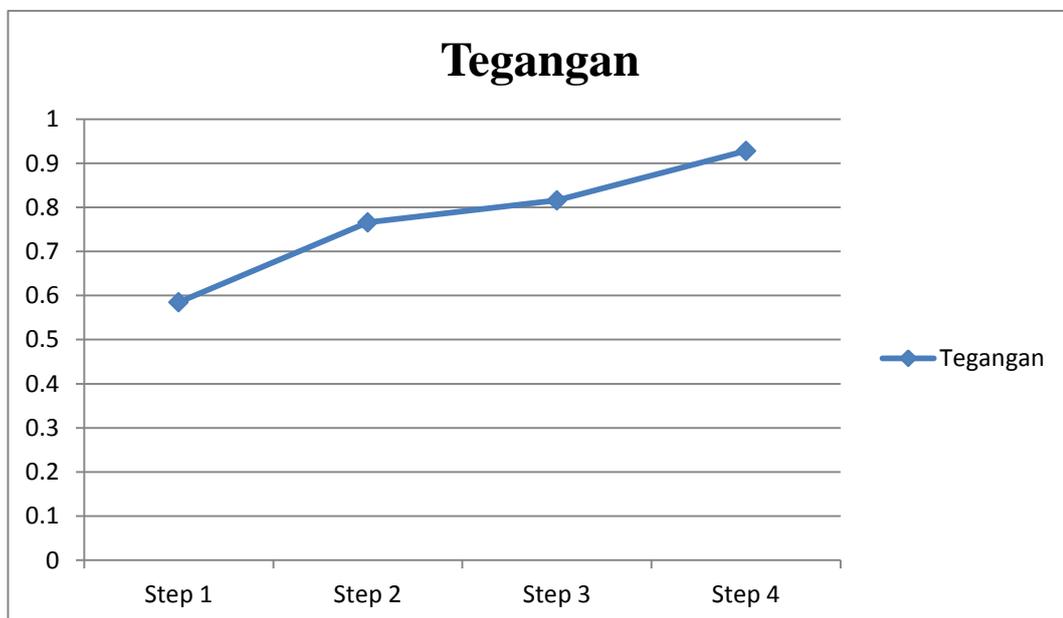
Gambar 4.5 Grafik Nilai Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 16 Cm

Dari data Tabel 4.2 nilai putaran turbin terhadap Besar Api pada tinggi tungku 16 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.6:



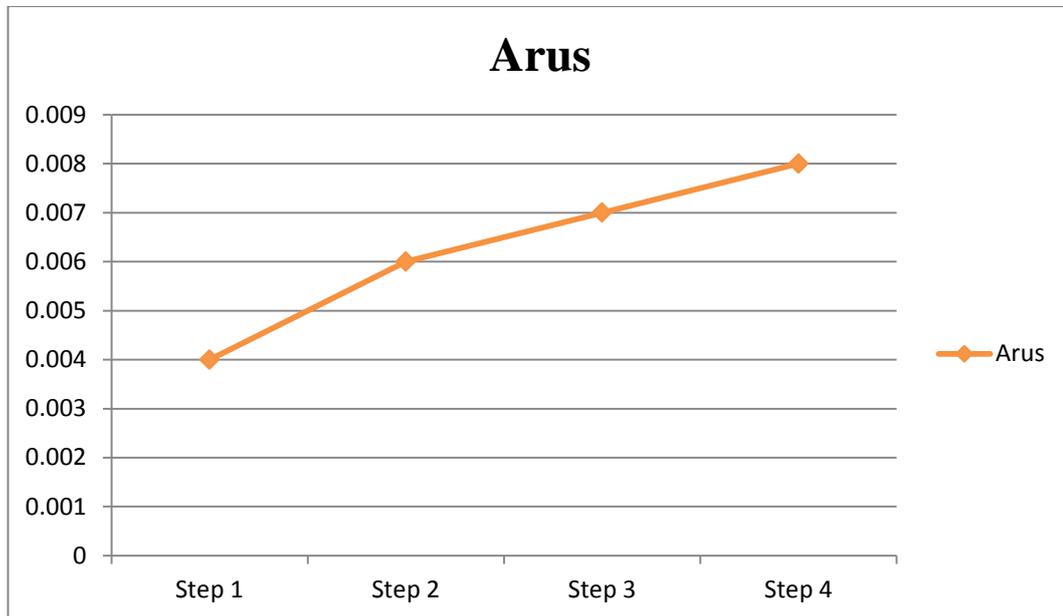
Gambar 4.6 Grafik Nilai Putaran Turbin Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 16 Cm

Dari data Tabel 4.2 nilai tegangan terhadap Besar Api pada tinggi tungku 16 cm dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.7:



Gambar 4.7 Grafik Nilai Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku 16 Cm

Dari data Tabel 4.2 nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 16 cm dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.8:



Gambar 4.4 Grafik nilai arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku 16 cm

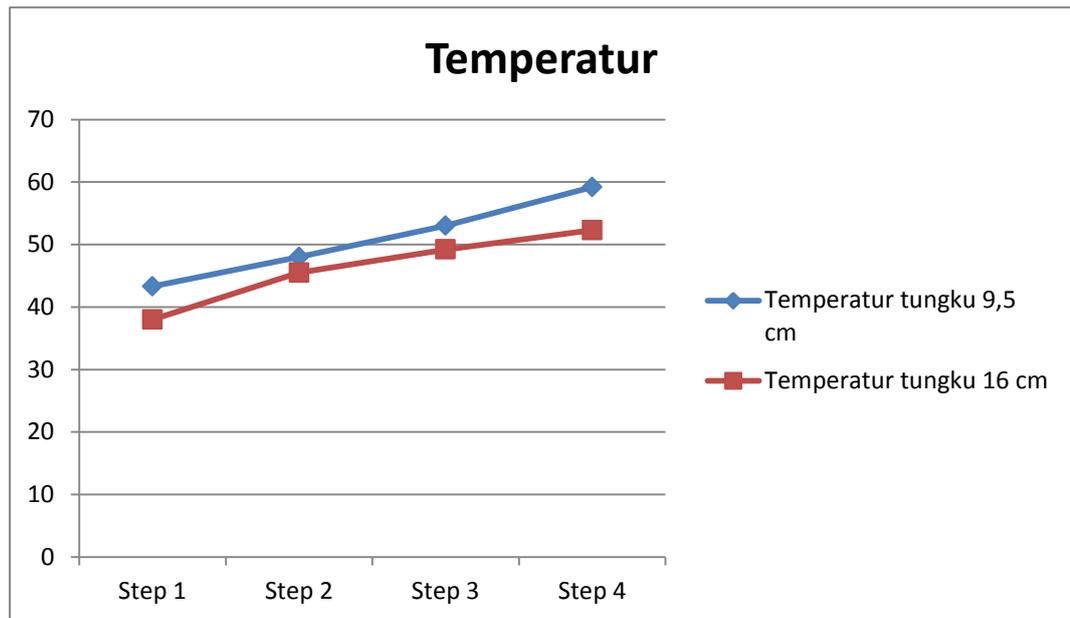
4.2.3 Hasil Perbandingan Antara Jarak

Dari data yang telah diteliti, hasil perbandingan dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

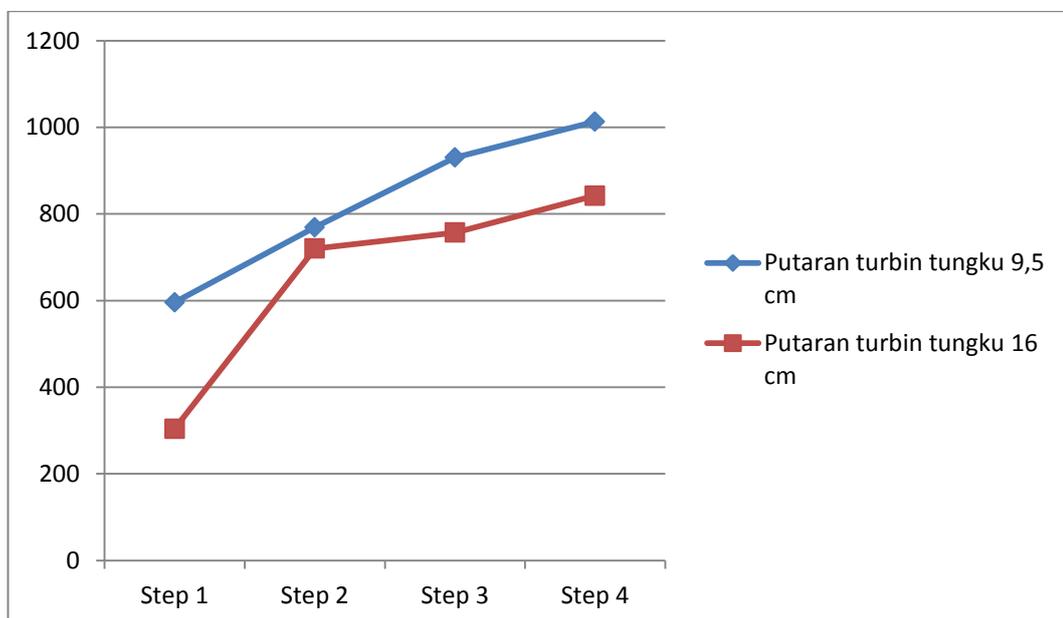
Tabel 4.3 Data Perbandingan tinggi tungku terhadap mesin stirling

No	Tinggi Tungku (Cm)	Besar Kecil Api	Temperatur	Putaran Turbin	Tegangan (V)	Arus (I)
1	9,5 cm	Step 1	43,3°C	596 Rpm	0.665 V	0,004 A
		Step 2	48°C	769 Rpm	0.844 V	0,007 A
		Step 3	53°C	930 Rpm	0,897 V	0,009 A
		Step 4	59,2°C	1013 Rpm	0,928 V	0,010 A
2	16 cm	Step 1	38°C	304 Rpm	0,585 V	0,004 A
		Step 2	45,5°C	720 Rpm	0,766 V	0,006 A
		Step 3	49.2°C	757 Rpm	0,816 V	0,007 A
		Step 4	52,3°C	842 Rpm	0,853 V	0,008 A

Dari data Tabel 4.3 nilai perbandingan temperatur terhadap besar api pada tinggi tungku dapat dilihat pada gambar grafik 4.9:

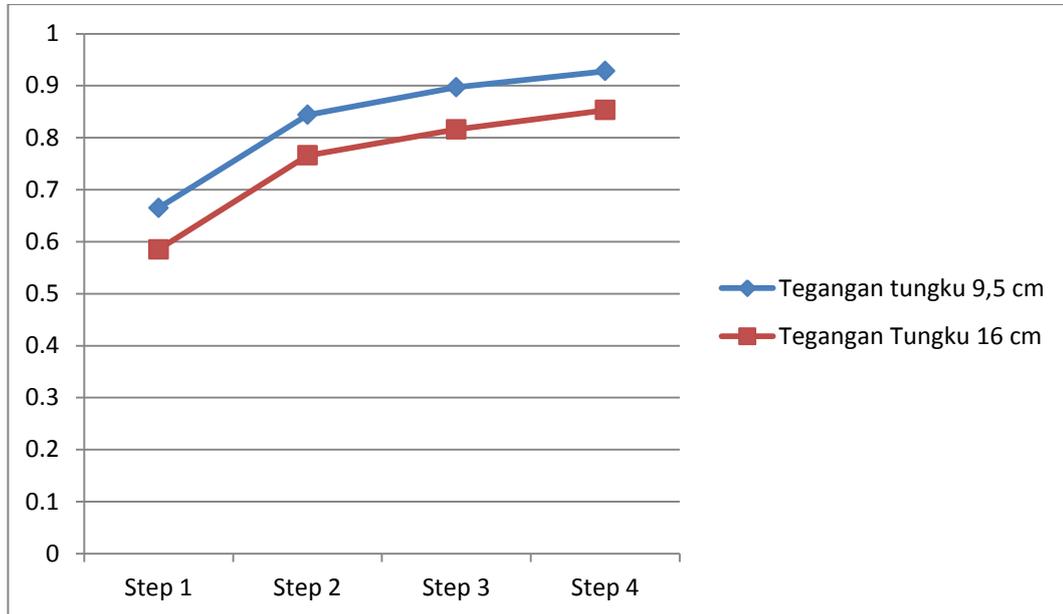


Gambar 4.9 Grafik Nilai perbandingan Temperatur Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku
 Dari data Tabel 4.3 nilai perbandingan putaran turbin terhadap Besar Api pada tinggi tungku dapat dilihat pada gambar grafik 4.10:



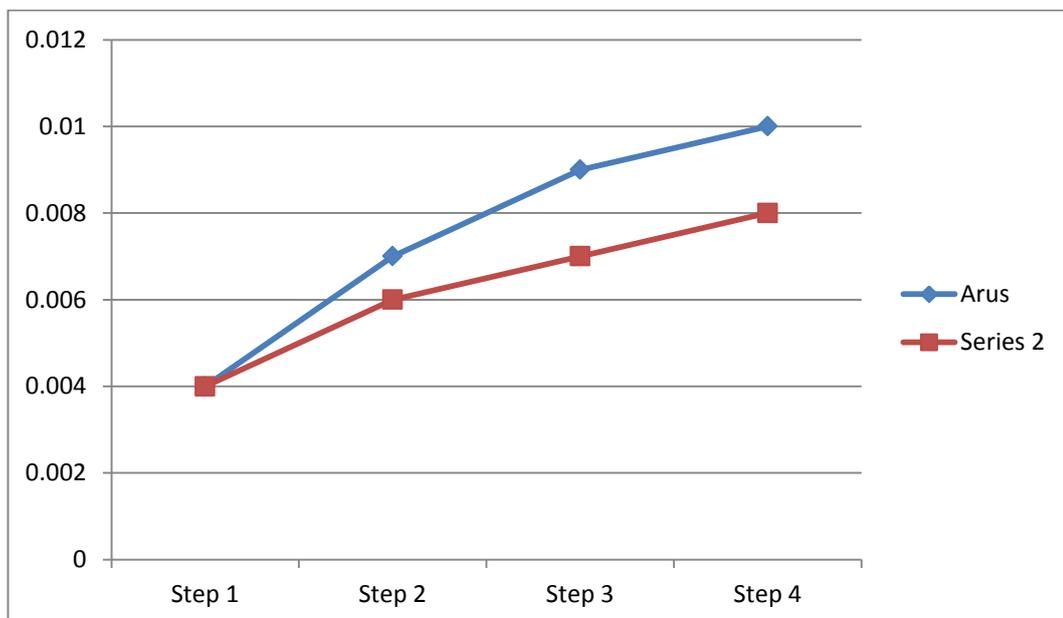
Gambar 4.10 Grafik Nilai perbandingan Putaran Turbin Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku

Dari data Tabel 4.3 nilai perbandingan tegangan terhadap Besar Api pada tinggi tungku dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.11:



Gambar 4.11 Grafik Nilai perbandingan Tegangan Terhadap Besar Kecil Api Pada Tinggi Tungku

Dari data Tabel 4.3 nilai perbandingan arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.12:



Gambar 4.12 Grafik nilai perbandingan arus terhadap besar kecil api pada tinggi tungku

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Perancangan Prototype Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Berbahan Bakar Gas Alam yang telah melakukan penelitian dan pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan mesin stirling sederhana sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik dapat direalisasikan walaupun putaran dari flywheel rendah. Putaran flywheel dapat menghasilkan listrik dengan cara menghubungkan tali belting ke generator.
2. Dari hasil percobaan tersebut perbedaan tinggi tungku yang dilakukan yaitu 9,5 dan 16 cm pada tekanan 248,21 Kpa, tegangan terendah yang dihasilkan adalah 0,585 Volt yaitu pada temperatur 38°C dengan kecepatan putaran 304 rpm pada api kecil di tungku 16 cm, dan tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah 0,928 Volt yaitu pada temperatur 59,2°C dengan kecepatan putaran 1013 rpm pada api besar di tungku 9,5 cm. Semakin rendah tungku dan semakin besar api, maka putaran turbin semakin besar. Dengan bertambah besarnya kecepatan turbin maka akan semakin besar pula tegangan yang dihasilkan generator.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk pengembangan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan alat ini masih sangat memungkinkan dan dapat disempurnakan dengan adanya peningkatan jenis generator dengan putaran rendah *output* yang tinggi.
2. Mendesain mekanik flywheel seringan mungkin supaya ketika silinder terbakar pada api yang kecil, flywheel langsung dapat berputar.
3. Untuk kedepannya dapat menambahkan metode-metode yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Chmielewski, R. Gumi, S. Radkowski, and P. Szulim, "Experimental research and application possibilities of microcogeneration system with Stirling engine," *J. Power Technol.*, vol. 95, no. 2015, pp. 14–22, 2020.
- [2] P. Bebas, S. Dan, and U. Sanata, "Karakteristik motor stirling," *Tugas Akhir, TEKNIK MESIN FAKULTAS SAINS DAN Teknol. UNIVERSITAS SANATA DHARMA*, 2013.
- [3] I. Mulyono, N. Yunarsih, P. Studi, T. Mesin, P. Negeri, and K. Riau, "ANALISA THERMODINAMIKA DAYA OUTPUT PROTOTYPE," *Tugas Akhir*, 2001.
- [4] N. E. Sources, A. I. Obanor, and F. A. Aisien, "Stirling Engine Technology : A Technical Approach to Balance the Use of Stirling Engine Technology : A Technical Approach to Balance the Use of Renewable and Non-Renewable Energy Sources," *Am. J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 1, no. 3, pp. 156–165, 2017.
- [5] A. RACHMAN, "PERANCANGAN STIRLING ENGINE TIPE BETA (β) MENGGUNAKAN TEORI SCHMIDT," *Tugas Akhir, TEKNIK MESIN Fak. Tek. Univ. LAMPUNG*, 2017.
- [6] D. Smirnov and A. Golkar, "Stirling Engine Systems Tradespace Exploration Framework," *Procedia - Procedia Comput. Sci.*, vol. 44, pp. 558–567, 2015.
- [7] T. E. Faculty, "Manufacturing and Testing of a V-Type Stirling Engine," *Turk J Engin Env. Sci*, vol. 24, pp. 71–80, 2000.

LAMPIRAN







UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. NURUL AL BAINAL INSAN
NPM : 1407220045
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN MESIN STIRLING BERBAHAN
BAKAR SPIRITUS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	16/11-'18	Ass. bab I & II	
		Sempurna (perbaiki comment!) yg. ada	
	18/12-'18	Sempurna bab II	
		& sesuaikan tul ke Bab II	
		layutkan ke Bab III	
		untuk perhitungan & gambar	
		uji coba	
	17/1-'19	Ada penyempurnaan judul, untuk	
		itu akan di sempurnakan terkait perbandingan pemilihan daya yg. bisa dgn. daya/bahan Bahan gas.	

Pembimbing I

Ir. ABDUL AZIS HUTASUHUT, MM



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. NURUL AL BAINAL INSAN
NPM : 1407220045
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN PROTOTYPE MESIN STIRLING
SEDERHANA SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT
TENAGA LISTRIK BERBAHAN BAKAR GAS ALAM

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	16/2-'19	Perlu penyempurnaan Berilenti nya	
	21/2-'19	Ace Ek. Bab V	
		Ops. mengilanti seminar	

Pembimbing I

Ir. ABDUL AZIS HUTASUHUT, MM



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. NURUL AL BAINAL INSAN
NPM : 1407220045
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN MESIN STIRLING BERBAHAN
BAKAR SPIRTUS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	12/2018 11	Kelebihan dan kekurangan sistem ini pada hari ini Cukup (Gedip) hari ini	
2	17/2018 12	Hal-hal yang harus diperhatikan pada saat ini Pembelajaran yg harus.	<i>Perbaikan</i>
3	17/2018 1	Perbaikan jurnal skripsi	

Pembimbing II

Ir. MULIADI

