

# PEMANFAATKAN BAHAN BAKAR SAMPAH PLASTIK DENGAN MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK HOT AIR STIRLING ENGINE

Noorly Evalina, M Khairil Riza, Arfis A, Rimbawaty

Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Mukhtar Basri No. 3 Medan

[noorlyevalina@umsu.ac.id](mailto:noorlyevalina@umsu.ac.id)

## Abstrak

Ketersediaan bahan bakar fosil di dunia setiap tahun mengalami kenaikan, sehingga memaksa kita untuk mencari bahan bakar atau energi alternative pengganti bahan bakar fosil. Salah satu energi alternatifnya adalah pemanfaatan pembakaran sampah plastik sebagai sumber energi listrik. Hot Air Stirling Engine merupakan salah satu media konversi energi alternative perkembangan motor bakar menuju kearah motor bakar yang ramah lingkungan yang menekankan pada pemakaian biaya yang lebih rendah. Ekspansi gas ketika di panaskan dan di ikuti kompresi gas ketika di dinginkan, bahan bakar sampah plastik digunakan sebagai sumber energi kalor yang dikonversikan oleh Hot Air Stirling Engine menjadi energi mekanik dan kemudian dikonversi menjadi energi listrik, hasil output pengujian mulai bergerak setelah tabung kaca displacer dipanaskan selama 60 detik dan pada 43°C diukur pada silinder displacer yang tidak terkena api pembakaran bahan bakar sampah plastik. Pengujian ini dihitung bertahap selama 30 detik setiap pengukuran dan diakhiri dengan waktu 330 detik.

**Kata-Kata Kunci :** Sampah Plastik, Hot Sterling Engine, Energi Listrik

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil di dunia setiap tahun mengalami kenaikan, sehingga memaksa kita untuk mencari bahan bakar atau energi alternative pengganti bahan bakar fosil. Salah satu energi alternatifnya adalah pemanfaatan pembakaran sampah plastik sebagai sumber energi listrik dengan teknologi yang bekerja dengan prinsip mengkonversi langsung energi panas menjadi energi listrik yang diaplikasikan pada *Hot Air Stirling Engine* [1].

*Hot Air Stirling Engine* merupakan salah satu media konversi energi alternative perkembangan motor bakar menuju kearah motor bakar yang ramah lingkungan yang menekankan pada pemakaian biaya yang lebih rendah. Ekspansi gas ketika di panaskan dan di ikuti kompresi gas ketika di dinginkan, bahan bakar sampah plastik digunakan sebagai sumber energi kalor yang dikonversikan oleh *Hot Air Stirling Engine* menjadi energi mekanik berupa gerakan translasi *piston* yang kemudian diubah gerakan rotasi *fly wheel*. Untuk mendapatkan hasil tersebut digunakan motor bakar berupa *Stirling Engine*

Adapun masalah yang akan di teliti dalam penulisan penelitian ini adalah bagaimana memanfaatkan bahan bakar sampah plastik, dengan menggunakan pembangkit listrik *Hot Air Stirling Engine* sehingga dapat menghasilkan tegangan dan arus listrik

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah Plastik

Plastik merupakan bahan yang banyak digunakan. Penggunaan bahan plastik semakin lama semakin meluas dan meningkat. Perkembangan produk plastik di Indonesia sangat pesat pada dua

dekade terakhir dengan hampir di semua jenis kebutuhan manusia [8]. Jumlah produk plastik yang dihasilkan di Indonesia terdiri dari beberapa jenis seperti *Poly Propylene* (PP), *Poly Ethylene* (PE), *Poly Styrene* (PS), *Poly Vinyl Chloride* (PVC), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Poly Ethylene Terephthalate* (PET), *Low Density Poly Ethylene* (LDPE), *High Density Poly Ethylene* (HDPE), dan *Styrofoam*, sudah diproduksi secara lokal sedangkan produk lain masih didapat dari luar Indonesia.

Produk-produk plastik setelah tidak dipakai lagi akan dibuang oleh konsumen sebagai sampah. Jumlah perkiraan persentasi sampah plastik di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Sampah Plastik dari jenis *High Density Poly Ethylene* (HDPE), dan *Poly Propylene* (PP) yang paling banyak diketemui. *Density Poly Ethylene* (HDPE) banyak digunakan digunakan untuk produk plastik yang memerlukan kekuatan dan tahan bahan kimia seperti ember, jerigen, botol plastik dan lain-lain, sedangkan *Poly Propylene* (PP) digunakan untuk produk plastik yang mempunyai daya regang yang tinggi seperti kantung plastik, *blister* (bungkus *snack*), dan lain-lain. Beberapa dari jenis plastik tersebut mempunyai nilai pasar akan tetapi kebanyakan plastik yang terdiri dari bungkus *snack* tidak mempunyai nilai pasar [2].

*Stirling Engine* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik dengan cara pemanasan, dimana sumber panas tersebut berasal dari hasil pembakaran bahan bakar sampah plastik di ruang bakar. Pada proses kenaikan suhu atau pembakaran ini berdasarkan pada prinsip termodinamika dan perpindahan panas yang disebabkan perbedaan temperatur, dari temperatur rendah menuju temperatur tinggi [3].

## 2.2. Hukum Termodinamika

### 2.2.1 Hukum Termodinamika I

Bunyi hukum Termodinamika I adalah “Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, melainkan hanya dapat diubah bentuknya saja” [4]. Jika selama gas mengalami suatu proses maka ada beberapa peristiwa yang dapat terjadi, seperti :

- 1) Energi dalam yang dimiliki gas berubah.
- 2) Muncul kerja yang dilakukan oleh gas atau yang dilakukan oleh lingkungan.
- 3) Ada pertukaran kalor antara gas dan lingkungan. Peristiwa yang terjadi dalam hukum termodinamika pertama menjelaskan bahwa terjadi interaksi antara sistem dan lingkungan.

Dalam hukum termodinamika pertama dijelaskan bahwa perubahan energi dalam dalam sistem yang tertutup,  $\Delta t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), akan sama dengan kalor yang ditambahkan kesistem dikurangi kerja yang dilakukan oleh sistem dalam bentuk persamaan:

$$\Delta t = Q - W$$

Dimana :

- 1) Q adalah kalor total yang di tambahkan kesistem (Joule/ kalori) dan,
- 2) W adalah usaha kerja total yang dilakukan (Joule/ kalori).

Hukum pertama termodinamika adalah sebuah persamaan kekekalan energi yang menyatakan bahwa satu-satunya jenis energi yang berubah dalam sistem adalah energi dalam. Dalam hal ini, tidak ada perpindahan energi berupa kalor dan usaha yang diberikan pada sistem bernilai nol, oleh sebab itu energi dalamnya konstan. Sehingga dapat disimpulkan pada keadaan ini energi dalam bersifat tetap atau konstan [5].

### 2.2.2 Hukum Termodinamika II

Hukum kedua termodinamika dinyatakan dengan entropi. Pada hukum pertama, energi dalam digunakan untuk mengenali perubahan yang diperbolehkan sedangkan pada hukum kedua entropi digunakan mengenali perubahan spontan di antara perubahan-perubahan yang diperbolehkan ini. Hukum kedua berbunyi entropi suatu sistem bertambah selama ada perubahan spontan.

Proses irreversibel (seperti pendinginan hingga mencapai temperatur yang sama dengan lingkungan dan pemuain bebas dari gas) adalah proses spontan, sehingga proses itu disertai dengan kenaikan entropi. Proses irreversibel menghasilkan entropi, sedangkan proses reversibel adalah perubahan yang sangat seimbang, dengan sistem dalam keseimbangan dengan lingkungannya pada setiap tahap. Proses reversibel tidak menghasilkan entropi, melainkan hanya memindahkan entropi dari suatu bagian sistem terisolasi ke bagian lainnya.

Semakin tinggi entropi suatu sistem, semakin tidak teratur pula sistem tersebut, sistem menjadi lebih rumit, kompleks, dan sulit diprediksi. Untuk mengetahui konsep keteraturan, mula-mula kita

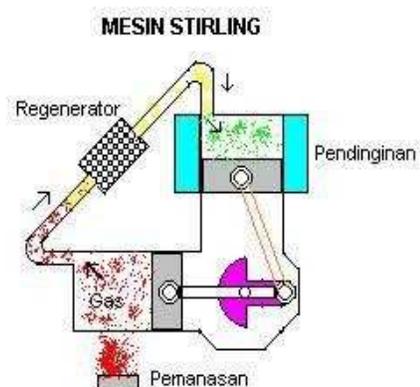
perlu membahas hukum kedua termodinamika yang dikenal sebagai ketidaksamaan Clausius dan dapat diterapkan pada setiap siklus tanpa memperhatikan dari benda mana siklus itu mendapatkan energi melalui perpindahan kalor. Ketidaksamaan Clausius mendasari dua hal yang digunakan untuk menganalisis sistem tertutup dan volume atur berdasarkan hukum kedua termodinamika yaitu sifat entropi dan neraca entropi.

### 2.2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan Kalor (*Heat Transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dimana energi yang dipindah itu dinamakan kalor (*Heat*). Kalor diketahui dapat berpindah dari tempat lebih tinggi ke temperature yang lebih rendah. Hukum percampuran kalor dapat terjadi karena kalor itu berpindah, sedangkan pada calorimeter, perpindahan kalor tidak saja mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan kalor itu merambat dari suatu bagian atau dari bagian lain.

## 2.3 Pengertian *Stirling Engine*

*Stirling Engine* adalah mesin kalor yang mengambil kalor dari luar silinder kerjanya. Sumber kalor apapun selama temperturnya cukup tinggi, akan bisa menggerakkan motor ini. Secara prakteknya siklus *Stirling Engine* berbeda dengan siklus teoritik yang di dalamnya terdapat proses dua temperatur konstan dan dua volume konstan [5].



Gambar 1. Sistem pembakaran *Stirling Engine*

*Stirling Engine* merupakan mesin pembakaran *eksternal* yang menggunakan udara atau gas (*helium, hydrogen, nitrogen, methanol, dsb*) sebagai fluida kerjanya, bekerja berdasarkan prinsip peredaran termodinamika (motor udara panas), ditemukan pada tahun 1816 oleh Robert Stirling, Kilmamock-Skotlandia. Jadi pada *Stirling Engine*, gas hanya disusutkan dan kemudian dikembangkan dengan pemanasan dari luar [1].

Sebuah regenerator memungkinkan panas yang dihasilkan disimpan di dalam, sebagian menggantikan energi panas karena sedikitnya alih panas yang dimungkinkan melalui dinding *heat-exchanger*. Energi panas disimpan di dalam regenerator sementara gas penggerak menyusup ke

ruangan yang dingin, dan kemudian dilepaskan sewaktu kembali ke ruangan ekspansi panas. Tenaga terjadi pada temperatur yang tinggi dan konstan, sangat ideal untuk setiap mesin. Kompresi terjadi pada temperatur rendah, dan hampir tidak ada energi panas yang hilang. Tenaga bersih yang dihasilkan adalah akibat perbedaan antara pengembangan gas bertemperatur tinggi dan mengompresi gas bertemperatur rendah.

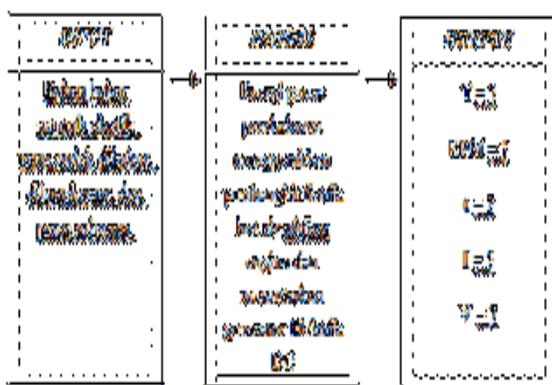
Mesin ini dapat membakar setiap bahan bakar padat (*solid*) atau cairan sebagai sumber pemanasannya. Hal ini menyebabkan *Stirling Engine* sangat menarik, khususnya pada situasi dimana bahan bakar konvensional saat ini sangat mahal dan sulit untuk memperolehnya. Beberapa jenis *Stirling Engine*, selain demikian efektif juga sangat mudah pembuatannya, sehingga menjadi pilihan yang terbaik untuk sistem pembangkit listrik di beberapa negara berkembang [2].

### 2.3.3 Hasil Pemanfaatan Energi Bahan Bakar Sampah Plastik Dengan *Stirling Engine*

Salah satunya adalah memanfaatkan energi bahan bakar sampah plastik dengan menggunakan *stirling engine* untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini bisa terjadi karena proses isobarik. Proses isobarik adalah proses yang berlangsung pada tekanan konstan. Prinsip kerja proses isobarik yang berlangsung dalam wadah yang dilengkapi sebuah *piston* dibagian atasnya. *Piston* tersebut dapat bergerak. *Piston* mendapat tekanan dari udara luar (*atmosfer*) sehingga nilainya konstan. Dengan demikian, tekanan dalam gas juga konstan. Cara kerjanya adalah membuat bahan bakar sampah plastik yang sudah dilakukan beberapa tahap seperti, pembakaran, kondensor, dan pengembunan. Lalu proses yang dilakukan adalah memanfaatkan energi panas bahan bakar sampah plastik yang dibakar menjadi energi gerak, kemudian diubah menjadi energi listrik DC.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pembangkit listrik *hot air stirling engine* dengan memanfaatkan bahan bakar sampah plastik. Penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan dengan lebih baik melalui blok diagram seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Blok Diagram Penelitian

Blok diagram diatas merupakan proses penelitian yang dilakukan setelah diimplementasikan. Berikut adalah keterangan dari setiap blok diagram pada Gambar 2.

1. Input  
Pada blok input, pembuatan bahan bakar sampah plastik yang sudah dilakukan beberapa tahap seperti, pembakaran, kondensor, dan pengembunan.
2. Proses  
Proses yang dilakukan adalah memanfaatkan energi panas bahan bakar sampah plastik yang dibakar menjadi energi gerak, kemudian diubah menjadi energi listrik DC.
3. Output  
Berdasarkan proses yang dilakukan, maka akan dapat diketahui perbandingan dari temperatur, putaran, waktu, tegangan dan arus yang dihasilkan.

### Variabel Data

Data-data yang dibutuhkan adalah :

1. Data analisa perancangan pembangkit *hot air stirling engine*.
2. Data perbandingan bahan bakar sampah plastik digunakan dengan output pembangkit *hot air stirling engine*.
3. Data analisa arus dan tegangan yang dihasilkan generator.

### Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

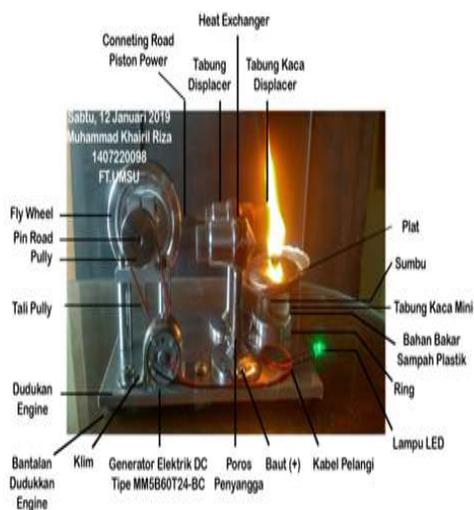
1. Menganalisa data-data penelitian terkait dengan data yang didapat dengan proses dari media sosial, internet, jurnal-jurnal, dan konsultasi terhadap ketua jurusan program studi teknik elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Melakukan uji coba pengukuran pembakaran dari bahan bakar spitur, minyak lampu, lilin dan sampah plastik.
3. Mengumpulkan data yang diambil dari hasil penelitian maupun dari media sosial, internet, jurnal-jurnal, dan konsultasi dari para dosen-dosen dengan cara wawancara.

### Langkah kerja Penelitian

Ada beberapa langkah kerja yang akan dilakukan guna memperoleh sebuah data yang sesuai dengan yang diinginkan penulis. Beberapa langkah tersebut diantaranya adalah :

1. Menyiapkan seluruh bahan-bahan dan peralatan penelitian.
2. Mengumpulkan sampah plastik yang tidak terpakai secukupnya.
3. Membersihkan sampah plastik dari kotoran-kotoran yang melekat dengan cara dielap dengan kain.
4. Menjemur sampah plastik hingga kering sampah dengan durasi waktu secukupnya.

5. Jika sudah kering, memasukkan sampah plastik di tabung pembakaran hingga sampah plastik berbentuk bahan bakar dengan cara telah dikondensor dan pengembunan.
6. Menunggu sampah plastik benar-benar sampai menjadi bahan bakar di wadah penampung.
7. Jika sudah menjadi bahan bakar, kemudian memasukkan bahan bakar sampah plastik ke dalam tabung kaca mini.
8. Menyiapkan perancangan dan membuat pembangkit listrik *hot air stirling engine*.
9. Membakar sumbu tabung kaca mini dengan bahan bakar sampah plastik dibawah tabung kaca *displacer*.
10. Menunggu hingga tabung kaca *displacer* panas dan sekaligus menghidupkan *stopwatch* agar dapat menghitung berapa lama pembangkit listrik *hot air stirling engine* bekerja.
11. Membantu *fly wheel* gerak mula dengan cara memutar *fly wheel* dengan jari tangan searah jarum jam hingga pembangkit listrik *hot air stirling engine* bekerja yang diinginkan.
12. Jika pembangkit listrik *hot air stirling engine* bekerja sudah sesuai yang diinginkan, kemudian mengukur temperature (T), kecepatan putaran *fly wheel* (RPM), waktu (s), arus (I), dan tegangan (V) yang dihasilkan.
13. Jika sudah berhasil, mematikan sisa api ditabung pembakaran dan di sumbu tabung kaca mini.
14. Merapikan bahan-bahan dan peralatan percobaan penelitian.
15. Memasukkan hasil-hasil percobaan penelitian kedalam penulisan.



**Gambar 3. Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine Yang Sudah Menggunakan Bahan Bakar Sampah Plastik**

#### IV. PENGOLAHAN DATA

Pengujian bertujuan untuk menganalisa tegangan *output* dari pembangkit listrik *hot air stirling engine* dengan memanfaatkan bahan bakar sampah plastik. Untuk melihat hasil dari pengujian, maka dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1. Hasil Output Pengujian**

t (det)	T (°C)	N (rpm)	v (V)	i (Amp)
0	0	0	0	0
30	0	0	0	0
60	43	821	1,9	1,2
90	51	1470	2,7	1,8
120	57	1533	3,3	2,2
150	59	1495	2,9	1,9
180	61	1548	3,4	2,2
210	64	1519	3,1	2,0
240	63	1490	2,9	1,9
270	65	1471	2,7	1,8
300	66	1476	2,7	1,8
330	68	1466	2,6	1,7

Pembangkit listrik *hot air stirling engine* dengan memanfaatkan bahan bakar sampah plastik menunjukkan bahwa hasil *output* pengujian mulai bergerak setelah tabung kaca *displacer* dipanaskan selama 60 detik dan pada 43°C diukur pada silinder *displacer* yang tidak terkena api pembakaran bahan bakar sampah plastik. Pengujian ini dihitung bertahap selama 30 detik setiap pengukuran dan diakhiri dengan waktu 330 detik.

Setelah pengujian dapat diketahui bahwa karakteristik Pembangkit listrik *Hot Air Stirling Engine* mempunyai *Temperature Cold / Temperature* Awal (Tc) yang terdapat pada suhu disekitar pengujian, dan *Temperature Hot* (Th) yang terdapat pada tabung kaca *displacer* dipanaskan dengan bahan bakar sampah plastik. *Temperature Hot* (Th) dapat mempengaruhi kecepatan putaran pada *fly wheel*.

Kemudian tegangan yang dihasilkan dari generator tergantung dari *fly wheel* dan *piston* yang memutar rotor generator, begitu juga dengan arus yang dihasilkan tergantung dari tegangan dan beban. Dapat disimpulkan bahwa Pembangkit listrik *hot air stirling engine* dengan memanfaatkan bahan bakar sampah plastik adalah energi panas diubah menjadi energi gerak (mekanik) lalu diubah menjadi energi listrik *direct current* (DC).

Adapun tekanan udara disilinder 5 milibar (mb) sampai 7 milibar (mb), tergantung dari *fly wheel* yang berputar. Tekanan udara diukur dengan menggunakan barometer.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Cara kerja dari *hot air stirling engine* ini adalah memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. perbedaan temperature akan

mengakibatkan adanya perbedaan tekanan yang akhirnya menghasilkan ekspansi dari fluida kerjanya. Ekspansi inilah yang dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi kerja oleh *fly wheel* dan *piston* agar menjadi kerja mekanik, lalu dihubungkan kegenerator elektrik agar dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik *direct current* (DC). Pada penelitian ini saat temperature 43° C putaran yang dihasilkan 821 rpm, dan setelah temperature 68°C putaran yang dihasilkan sebesar 1466 rpm

- b. Kecepatan putaran pada *fly wheel* dipengaruhi oleh kenaikan temperature, lalu naiknya temperature disebabkan oleh panas dari api bahan bakar sampah plastik, kemudian pengukuran waktu selisih 30 detik pada pengujian.
- c. Tegangan yang dihasilkan dari generator tergantung dari *fly wheel* dan *piston* yang memutar rotor generator.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. P. Nazila, 2016, *Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma Dan Sistem Aliran Air Pada Reservoir Rendah Skripsi Oleh : Intan Putri Nazila.*
- [2]. F. L. Sahwan, D. H. Martono, And S., 2005, Wahyono, *Sistem Pengelolaan Limbah Plastik Di Indonesia*, No. 1, Pp. 311–318.
- [3]. Syafriyudin, *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari Berbasis Mesin*
- [4]. L. Agreement And W. Material, 2006, *Stirling Engine Assessment*, Vol. 3, No. 3.
- [5]. K. Eksperimental And M. Stirling, *Kaji Eksperimental Mesin Stirling Tipe B Menggunakan Variasi Bahan Bakar Biomassa*, Vol. 5, Pp. 47–5



