

UJI PERFORMANCE STIRLING ENGINE TIPE GAMMA MENGUNAKAN SPIRITUS PREMIUM DAN PERTAMAX

Pindho Baskoro¹, Jaelani Sidik², Suasih³

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Wahidiyah Kediri

^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Wahidiyah
(rino.imanda@gmail.com)

Abstrak

Mesin *Stirling* merupakan suatu mesin yang digerakan melalui dua proses isothermal dan dua proses *ishokorik* yang dilakukan secara tertutup. Secara umum proses kerja *Stirling Engine* dipengaruhi oleh pembakarannya agar menghasilkan energi kalor yang kemudian diubah menjadi energi mekanik dan dari energi mekanik diubah oleh *flywheel* untuk menjadi energi kinetik rotasi. Metode penelitian *factorial experimental* dengan teknik pengambilan data *purposive sampling*. Diameter tabung *displacer* 19 mm, roda gila 54 mm, piston power 17 mm, piston *displacer* 12 mm, panjang *connecting rod* 90 mm. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui performance pada *Stirling Engine* dan kinerja *Stirling Engine* menggunakan 3 jenis bahan bakar yaitu spiritus, premium, dan pertamax. Dari penelitian didapatkan nilai torsi dan Rpm maksimum dari bahan bakar spiritus sebesar 0,053 10 Nm dan 1070 Rpm, dari bahan bakar premium sebesar 0,055 10 Nm dan 1110 Rpm, dari bahan bakar pertamax 0,055 10 Nm dan 1111 Rpm, maka dapat disimpulkan bahwa bahan bakar dengan nilai Rpm dan torsi tertinggi untuk mesin *Stirling* tipe Gamma adalah pertamax. Hal ini disebabkan karena pertamax memiliki temperature diatas rata-rata bahan bakar lainnya.

Kata Kunci: Mesin *Stirling*, torsi, RPM, spiritus, premium, pertamax

PENDAHULUAN

Motor bakar *Stirling* atau juga disebut mesin *stirling* pertama kali ditemukan oleh Robert *Stirling* dan dipatenkan olehnya pada tahun 1816. Mesin *stirling* adalah salah satu mesin kalor dan didefinisikan sebagai mesin regenerasi udara panas siklus tertutup. Dalam konteks ini, siklus tertutup berarti bahwa fluida kerjanya secara permanen terkurung didalam sistem, dimana mesin siklus terbuka seperti mesin pembakaran internal dan beberapa mesin uap, menukarkan fluida kerjanya dengan lingkungan sekitar sebagai bagian dari siklus kerja.

Siklus ideal mesin *Stirling*

dibentuk oleh dua proses *ishokorik* dan dua proses isothermal. Mempertimbangkan sebuah silinder yang memiliki dua buah piston yang berlawanan dengan regenerator diantara piston (Karabulut, Okur, & Ozdemir, 2019).

Mesin *Stirling* merupakan mesin yang menggunakan pembakaran luar dengan siklus tertutup yang mengubah energi panas menjadi energi gerak dengan menggunakan udara atau gas sebagai fluida kerjanya (Studi, Mesin, Krisnadwipayana, Gede, & Timur, n.d.).

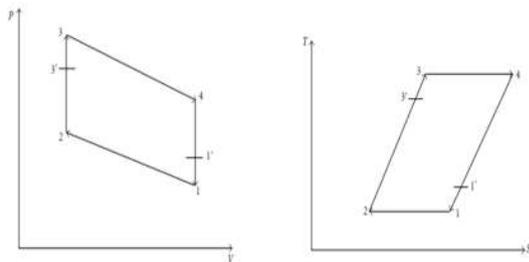
TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Stirling Engine

Motor bakar Stirling atau mesin Stirling pertama kali ditemukan oleh Robert Stirling dan dipatenkan olehnya pada tahun 1816. Stirling Engine beroperasi pada siklus kompresi dan ekspansi udara atau gas lainnya. Dahulu disebut sebagai mesin udara. Mesin ini jauh sebelum penemuan untuk mesin bensin dan diesel. Dalam mesin stirling, fluida yang bekerja dijaga pada tingkat suhu yang berbeda. Stirling Engine jauh berbeda dari mesin pembakaran dalam yang digunakan pada mobil (Studi et al., n.d.).

B. Siklus Stirling Engine

Siklus yang terjadi pada mesin Stirling menggunakan dua proses isothermal dan dua proses oshokorik sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram P-V dan T-S

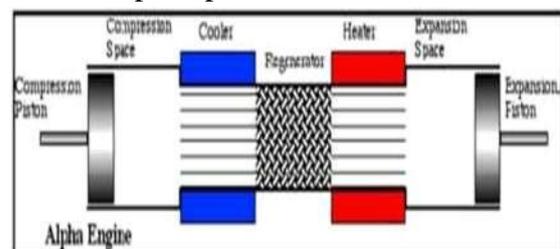
- Proses 1-2, Proses Kompresi Isothermal. Selama proses kompresi dari 1 ke 2, piston kompresi bergerak menuju regenerator sementara piston ekspansi tetap statis. Fluida kerja dikompresi dalam ruang kompresi dan tekanan meningkat dari P_1 ke P_2 dan suhu dijaga konstan karena aliran panas dari ruang dingin untuk sekitarnya. tidak ada perubahan dalam energi internal dan ada penurunan dalam entropi.
- Proses 2-3, Kompresi isohorik. Dalam proses 2-3, kedua piston

bergerak secara bersamaan, yaitu piston kompresi menuju regenerator dan ekspansi piston menjauh dari regenerator, sehingga volume antar piston tetap konstan.

- Proses 3-4, Ekspansi Isothermal. Dalam proses ekspansi 3-4, piston ekspansi terus berlanjut menjauh dari regenerator menuju piston kompresi tetap dititik mati yang berdekatan dengan regenerator. Saat ekspansi berlangsung, tekanan berkurang dengan meningkatnya volume. Suhu dijaga konstan dengan meningkatkan suhu ke sistem dari sumber panas. Tidak terjadi perubahan energi internal, tetapi peningkatan fluida kerja dari energi entropi.
- Proses 4-1, Ekspansi Isohorik. Dalam proses 4-1, kedua piston bergerak secara bersamaan untuk mentransfer fluida kerja dari ruang ekspansi ke ruang kompresi pada volume konstan. Selama proses aliran fluida kerja berjalan maka panas ditansfer dari fluida kerja ke regenerator untuk mengurangi suhu fluida kerja. Ada penurunan energi internal dan entropi fluida kerja.

C. Jenis-jenis Stirling Engine

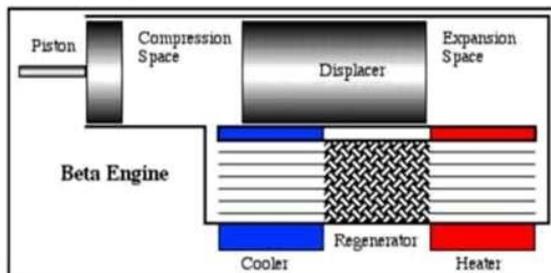
1. Tipe Alpha



Gambar 2.2 Stirling Engine Tipe Alpha

Stirling Engine tipe alpha memiliki dua buah displacer dengan posisi tabung displacer terpisah dan menggunakan sebuah pipa penghubung yang berfungsi sebagai heat exchanger. Stirling Engine tipe Alpha memiliki kelemahan yaitu bila terjadi suhu berlebih pada displacer panas maka akan berpengaruh pada bagian lainnya (Studi et al., n.d.).

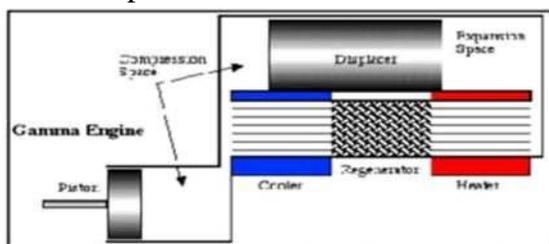
2. Tipe Beta



Gambar 2.3 Stirling Engine Tipe Beta

Stirling Engine tipe beta terdiri atas satu tabung displacer yang didalamnya terdapat dua buah displacer. Tipe beta ini memiliki toleransi ruang pada tabung displacernya hingga memungkinkan gas mendorong dan memberikan kekuatan pada mesin (Studi et al., n.d.).

3. Tipe Gamma



Gambar 2.4 Stirling Engine Tipe Gamma

Stirling Engine tipe Gamma menggunakan mekanisme dari dua buah displacer dengan ruang kompresi bebas berada ditengah- tengah. Mekanisme Stirling Engine tipe Gamma banyak digunakan pada Stirling Engine dengan multi silinder (yulianto,2013).

D. Penggunaan Stirling Engine

Adapun beberapa penggunaan atau pengaplikasian Stirling Engine menurut

(Nier-ni, 1816) sebagai berikut:

- Mampu menjadi AC dalam skala rumahan yang diproduksi oleh perusahaan WhisperGen di Selandia Baru.
- b. Menggunakan Stirling Engine sebagai generator.
- menggunakan Stirling Engine sebagai pompa untuk mengeluarkan udara panas dari ruangan.

E. Torsi (Momen Gaya)

Torsi digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya (Nazila, 2016). Adapun perumusan torsi sebagai berikut:

$$\tau = F \times l$$

τ : Torsi benda berputar (Nm)

F : Gaya sentrifugal benda putar (N)

r : Jari-jari benda ke poros (m)

Torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan.

F. Kecepatan Putaran (Rotation per Minutes)

RPM (Rotation Per Minutes) yang dilambangkan dengan adalah kemampuan kecepatan putar dari suatu mesin. Kecepatan putaran mesin sering digunakan untuk menggambarkan rotasi suatu objek dalam lintasan melingkar. Alat untuk mengukur Rpm adalah Tachometer.

Kecepatan suatu benda umumnya ditentukan oleh kecepatan sudutnya. Oleh karena itu kecepatan putaran biasanya diukur sebagai perjalanan sepanjang lingkaran dalam periode waktu tertentu.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Factorial Experimental. Factorial Experimental merupakan pengembangan dari Design True Experimental dengan meneliti pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat (Sugiyono, 2008). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari bahan bakar spiritus, premium dan pertamax terhadap nilai torsi, kecepatan putaran dan temperatur pada mesin Stirling tipe Gamma.

Observasi terstruktur menjadi teknik pengambilan data pada penelitian ini karena, penelitian ini menggunakan variabel-variabel yang sudah ditetapkan. Kemudian data dianalisa menggunakan metode statistik deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

B. Alat dan Bahan

- Alat
 1. Tachometer.
 2. Thermometer
- Bahan
 1. Spiritus, premium dan pertamax.
 2. Sumbu kompor dan botol kaca.
 3. Krangka peyangga Stirling Engine.

C. Benda Uji



Gambar 3.1 Benda Uji

D. Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan kualitas dan hasil yang diberikan untuk mencapai tujuan yang diinginkan, sebagai berikut:

- a. Variabel Terikat
 - Torsi Rpm
 - Temperatur
- b. Variabel Bebas
 - Spiritus
 - Premium
 - Pertamax

E. Alur Penelitian

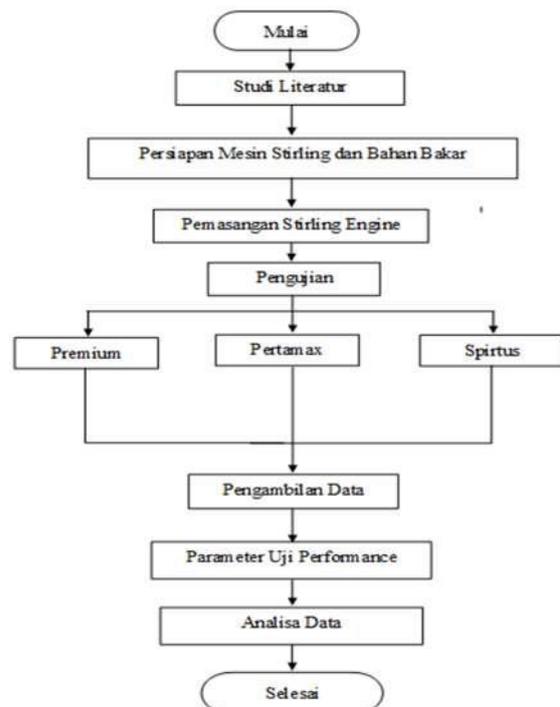


Diagram Alir

F. Menghitung Torsi

$$\tau = r \times F$$

Keterangan:

- τ = Momen Gaya (Nm)
- F = Gaya yang bekerja (N)
- r = Lengan Momen (m)

$$s = V_0 t \pm \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

- S = Jarak (m)
 V_0 = Kecepatan awal (m/s)
 V_t = Kecepatan akhir (m/s)
 a = Percepatan (m/)
 t = Waktu (s)

$$F = m \cdot a$$

Dimana:

- F = Gaya (N)
 M = massa (kg)
 a = Percepatan (m/)

PEMBAHASAN

A. Prosedur Pengukuran

Cara kerja mesin Stirling memanfaatkan sumber panas yang dihasilkan dari proses pembakaran menggunakan spiritus untuk menggerakkan displacer sehingga menghasilkan gerak maju-mundur. Mesin Stirling bergerak berdasarkan 4 siklus yaitu ekspansi isothermal, ekspansi isohorik, kompresi isothermal dan kompresi isohorik. Sumber panas yang digunakan untuk mesin Stirling pada penelitian ini adalah bahan bakar spiritus, premium, dan pertamax.

Pengukuran Rpm menggunakan Tachometer dan untuk mengukur perubahan suhu menggunakan Thermometer.

B. Data Hasil Percobaan

a. Pertama

Tabel 4.1 Data Spiritus Hasil Penelitian pada Percobaan Pertama

Bahan Bakar	Percobaan Pertama		
	T 1	T 2	Rpm
Spiritus	70	27	500
	90	27	720
	80	28	820
	87	29	950

Pertamax	120	29	600
	175	32	1075
	180	35	1110
	210	38	1015
Premium	140	31	650
	175	32	1075
	180	35	1110
	210	38	1015

b. Kedua

Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian Percobaan pada Percobaan Kedua

Bahan Bakar	Percobaan		
	T 1	T 2	Rpm
Pertamax	230	31	530
	235	34	1053
	232	36	1111
	224	40	1003
Premium	140	34	343
	179	35	1003
	185	36	1040
	197	38	940
Spiritus	75	29	340
	101	30	752
	121	30	961
	131	31	1094

Ketiga

Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian pada Percobaan ke Tiga

Bahan Bakar	Percobaan Ketiga		
	T 1	T 2	Rpm
Premium	120	33	243
	134	34	505
	155	37	934
	170	40	750
Spiritus	117	29	458
	122	30	900
	127	31	1058
	132	33	1070
Pertamax	160	32	700
	180	34	900
	200	39	1040

	230	42	980
--	-----	----	-----

Dari data tersebut kita dapat melakukan penghitungan nilai torsi yang didapatkan dari pembakaran bahan bakar spiritus, sebagai berikut:

a. Perhitungan Torsi

Diket:

$$d_{\text{pulley}} = 54 \text{ mm} = 0,054$$

$$r = 27 \text{ mm} = 0,027 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{aluminium}} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Tabung displacer}} &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\ &= \pi \cdot 0,007^2 \cdot 0,04 \\ &= 6,154 \text{ mm}^3 \\ &= 0,0061 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka massa batang *displacer* aluminium sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_{bp} &= \rho_{\text{aluminium}} \cdot V_{bp} \\ &= 2700 \cdot 0,0061 \times 10^{-6} \\ &= 0,016 \times 10^{-3} \text{ Kg} \end{aligned}$$

Mencari Nilai Percepatan Piston

Diket:

$$N = 1094 \text{ rpm}$$

$$S = 90 \text{ mm} = 0,09 \text{ m}$$

$$V_0 = 0 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} V &= N \cdot 2 \cdot S \\ &= 1094 \cdot 2 \cdot 0,09 \\ &= 196,9 \text{ m/menit} = 3,28 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Vt^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$3,28^2 = 2 \cdot a \cdot 0,027$$

$$a = 119,6 \text{ m/s}^2$$

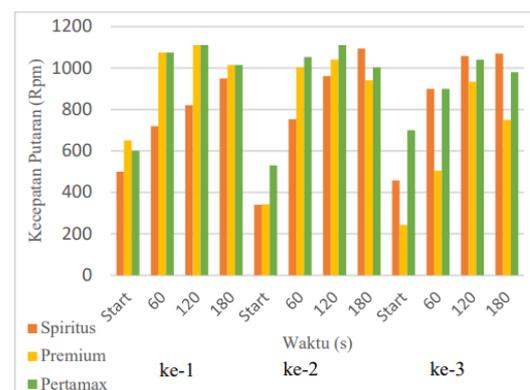
$$\begin{aligned} \text{Maka } F &= m \cdot a \\ &= 0,0016 \times 10^{-3} \cdot 119,6 \\ &= 1,9 \times 10^{-3} \text{ N} \end{aligned}$$

Maka Nilai Torsi yang dihasilkan

$$\begin{aligned} T &= F \cdot l \\ &= 1,9 \times 10^{-3} \cdot 0,027 \\ &= 0,053 \times 10^{-3} \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapat nilai torsi kemudian dianalisa menggunakan grafik dan dijelaskan secara deskriptif sebagai berikut:

a. Analisa Perbandingan Rpm



Grafik 4.1 Analisis Perbandingan Rpm

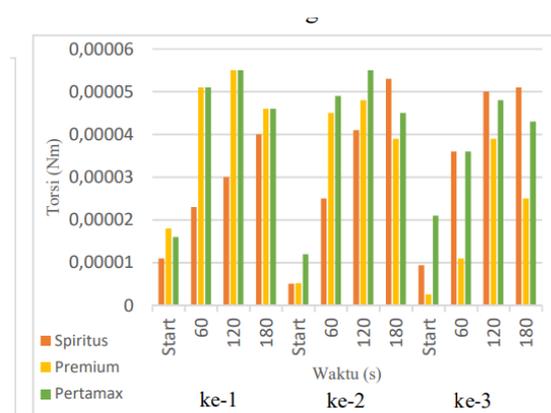
Grafik 4.2 menunjukkan perbandingan Rpm dari setiap bahan bakar. Terlihat jelas pada percobaan bahan bakar spiritus Rpm

terus meningkat dan tidak mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa temperature yang diberikan bahan bakar spiritus meningkat secara konstan.

Pada percobaan bahan bakar premium Rpm yang dihasilkan terus menurun dari setiap percobaan yang disebabkan penumpukan asap pembakaran pada displacer power *Stirling Engine*.

Pada percobaan bahan bakar pertamax Rpm yang diberikan stabil diangkat 1000 Rpm pada 2 menit awal namun, mengalami penurunan pada menit ketiga karena penumpukan asap pembakaran pada displacer power *Stirling Engine*.

b. Analisa Perbandingan Torsi



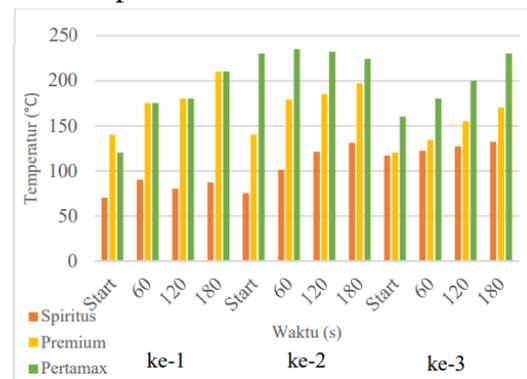
Grafik 4.2 Analisis Perbandingan Torsi

Grafik 4.1 menunjukkan perbandingan Torsi dari setiap bahan bakar. Terlihat jelas bahwa peningkatan nilai torsi terbaik ada pada bahan bakar spiritus karena menunjukkan grafik yang terus meningkat hingga mencapai 0,00053 Nm pada percobaan kedua.

Pada percobaan bahan bakar premium terlihat jelas bahwa torsi yang diberikan tidak stabil pada menit terakhir sehingga nilai torsi menurun, hal ini disebabkan karena penumpukan asap pembakaran pada menit ke-3 sangat tebal menutup displacer power dan menghambat proses konduksi.

Pada percobaan bahan bakar pertamax memiliki nilai torsi yang terus menurun pada menit terakhir setiap percobaan disebabkan karena penumpukan asap pembakaran pada displacer power *Stirling Engine*.

c. Analisa Perbandingan Temperatur Displacer Power



Grafik 4.3 Analisis Perbandingan Temperatur Displacer Power

Grafik 4.3 menunjukkan perbandingan Temperatur dari setiap bahan bakar. Pada percobaan bahan bakar spiritus terlihat jelas bahwa temperature yang diberikan meningkat secara konstan dari setiap percobaan dan tidak mengalami penurunan karena bahan bakar spiritus tidak menyisakan asap pembakaran pada displacer power.

Pada percobaan bahan bakar premium temperature dapat meningkat secara konstan dari setiap percobaan walau terjadi penumpukan asap pembakaran pada displacer power.

Pada percobaan bahana bakar premium termpertur yang diberikan mengalami penurunan pada percobaan ke-2 yang disebabkan karena getaran dari *Stirling Engine* membuatnya berak menjauhi sumber panas sehingga tempetur menurun pada percobaan kedua.

d. Indikator Penelitian

Pada penelitian ini ditemukan

beberapa indikator untuk melakukan penelitian ini disebabkan karena kesalahan teknis pada saat pengujian sehingga diadakan pengujian ulang, sebagai berikut:

- a. Mengambil data dimulai berdasarkan kadar kemurnian/oktan bahan bakar tertinggi bila menggunakan 1 mesin Stirling.
- b. Penelitian ini sewajarnya dilakukan pada 3 mesin Stirling dengan tipe yang sama menggunakan 3 jenis bahan bakar.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan temperatur Dispalcer Power ($^{\circ}\text{C}$), nilai kecepatan putaran (Rpm) dan nilai torsi (Nm) maksimum: Tabel 5.1 Hasil Maksimum Pengujian

	Hasil Maksimum		
	T 1	Rpm	Torsi
Spirirtus	132	1094	0,000053
Premium	210	1110	0,000055
Pertamax	235	1111	0,000055

Dari hasil maksimum tersebut dapat disimpulkan bahwa bahan bakar premium dan pertamax memberikan Rpm dan nilai torsi yang baik pada Stirling Engine tipe Gamma, namun pada bahan bakar spiritus menjadi hasil terbaik karena dengan temperature rendah dapat menghasilkan 0 50 100 150 200 250 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) Waktu (s) Spiritus Premium Pertamax ke-1 ke-2 ke-3 Rpm tinggi dan torsi hampir setara dengan bahan bakar lainnya. Hal ini disebabkan karena kadar kemurnian/oktan dari bahan bakar spiritus lebih tinggi dibandingkan pertamax dan premium.

B. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut penulis memberikan beberapa saran agar nilai torsi dapat meningkat dari penelitian ini, sebagai

berikut:

- a. Mendesain dan membuat ulang Stirling Engine dengan desain baru dan dengan bahan Stainless Steel.
- b. Memberikan beban berupa lampu LED sebesar 1 Volt.

DAFTAR PUSTAKA

- Karabulut, H., Okur, M., & Ozdemir, A. O. (2019). Performance prediction of a Martini type of Stirling engine. *Energy Conversion and Management*, 179(October 2018), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.059>
- Nazila, I. P. (2016). *UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH SKRIPSI Oleh : INTAN PUTRI NAZILA.*
- Nicr-ni, T. (1816). Stirling engine Stirling engine. *Connect*, 2(09), 1–9.
- Studi, P., Mesin, T., Krisnadwipayana, U., Gede, P., & Timur, J. (n.d.). Analisis daya yang dihasilkan miniatur mesin stirling. 69–76.
- yuliarsono. (2013). Perancangan Termodinamika dan Pengujian Prototype Motor Stirling Tipe Alpha dengan Konfigurasi V-90. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53,1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sugiyono, 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D.* Alfabeta. Bandung.