

UJI PERBANDINGAN STIRLING ENGINE TIPE GAMMA MENGGUNAKAN SPIRITUS PREMIUM DAN PERTAMAX

Pindho Baskoro

Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahidiyah
ariagesti77@gmail.com

Rino Imanda

Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahidiyah
rino.imanda@gmail.com

Abstrak (Times New Roman 10, Bold, spasi 1, spacing before 12 pt, after 2 pt)

Stirling Engine pertama kali ditemukan pada tahun 1816 oleh Robert Stirling. Stirling Engine menggunakan siklus tertutup dan memiliki 2 proses isothermal dan 2 proses isokorik. Stirling Engine memiliki 3 jenis berdasarkan konfigurasi, yaitu Alpha, Beta dan Gamma. Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan dan menganalisa temperature, Rpm serta nilai torsi pada Stirling Engine tipe Gamma menggunakan bahan bakar spiritus, premium dan pertamax. Dari penujian Stirling Engine tipe Gamma didapatkan hasil dari bahan bakar spiritus dengan temperatur 132°C, nilai torsi sebesar $0,053 \times 10^{-3}$ Nm dan nilai kecepatan putaran mencapai 1094 Rpm, dari bahan bakar premium dengan temperature 210°C, nilai torsi sebesar $0,055 \times 10^{-3}$ Nm dan nilai kecepatan putaran mencapai 1110 Rpm, dan dari bahan bakar pertamax dengan temperature 235°C, nilai torsi sebesar $0,055 \times 10^{-3}$ Nm dan nilai kecepatan putaran mencapai 1111 Rpm. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai kecepatan putaran dan torsi maksimum dihasilkan oleh bahan bakar pertamax.

Kata Kunci: Stirling Engine Tipe Gamma, 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 .

Berdasarkan Hukum Termodinamika II, hukum ini bisa juga dinyatakan sebagai: “Energi tidak bisa dibuat atau dimusnahkan, namun bisa dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya”. Sesuai dengan hukum ini, energi yang diberikan oleh kalor mesti sama dengan kerja eksternal yang dilakukan ditambah dengan perolehan energi dalam karena kenaikan temperature (Diktat, Fakultas Teknik, 2007). Secara matematik:

$$Q = \Delta U + W$$

Dimana:

Q = kalor yang dipindahkan

ΔU = perubahan energi dalam

W = kerja yang dilakukan dalam satuan kalor

persamaan diatas bisa juga ditulis dalam bentuk diferensial

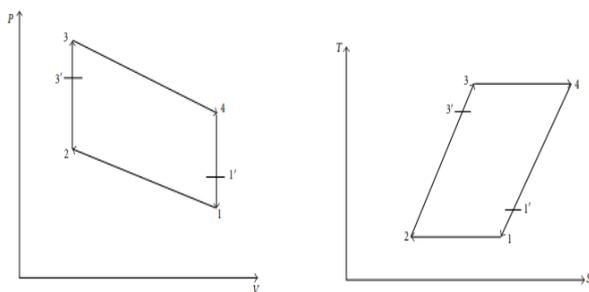
$$dQ = dU + dW$$

Stirling Engine berhubungan erat dengan hukum II termodinamika karena Stirling Engine mengubah satu bentuk energi kedalam bentuk energi lainnya. Hukum ini berbunyi: “Kalor dan kerja mekanik adalah bisa saling tukar”. Sesuai dengan hukum ini, maka sejumlah energi termal dibutuhkan untuk menciptakan energi mekanik dan diubah menjadi energi kinetik menggunakan batang

penghubung dan crankcase yang kemudian menjadi tenaga mekanis.

Siklus ideal mesin Stirling dibentuk oleh dua proses isohorik dan dua proses isothermal. Dua proses tersebut mempengaruhi sebuah silinder yang memiliki dua buah piston yang berlawanan dengan regenerator diantara piston (Karabulut, Okur, & Ozdemir, 2019)

Untuk memulai siklus mesin Stirling, (Asnaghi, Ladjevardi, Izadkhast, & Kashani, 2012) mengasumsikan bahwa piston space kompresi berada pada TMB dan piston ruang ekspansi berada pada TMA dekat Heat Exchanger. Volume kompresi maksimum dan tekanan dan suhu minimum nilai diwakili oleh titik 1 pada diagram PV dan TS dari gambar 1.



Gambar 1 Diagram PV dan TS dari Mesin Stirling
Sumber: (Asnaghi et al., 2012)

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.)

Mesin stirling secara tradisional diklarifikasikan kedalam mesin pembakaran eksternal, meskipun panas bisa didapatkan dari sumber panas eksternal seperti tenaga matahari, zat kimia, dan nuklir. Mesin Stirling beroperasi melalui penggunaan sumber panas eksternal, masing-masing dijaga agar memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar untuk menggerakkan piston. Dibandingkan dengan mesin pembakaran internal, mesin stirling memiliki potensi untuk lebih efisiensi, lebih tenang dan lebih mudah perawatannya.

Bila ditinjau dari pemakaiannya mesin Stirling dapat digunakan untuk generator, pompa air, dll. Hal ini mampu menunjang energi untuk kehidupan sehari-hari bila dijadikan pembangkit listrik skala PLN. Namun, masih

sedikit pengembangan dari mesin Stirling sehingga hanya digunakan sebagai alat uji semata. Mesin Stirling memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, kekurangan yang utama disebabkan oleh pembakarannya yang berada diluar dari silindernya yang menyebabkan temperature mudah menurun (Bataneh, 2018).

Tingkat efisiensi mesin Stirling memiliki nilai tertinggi diantara mesin uap lainnya, hal ini disebabkan bila nilai selisih suhu silinder panas dengan suhu silinder dingin (Karabulut et al., 2019). Sedangkan memiliki nilai selisih yang cukup tinggi dan meningkat secara konstan didukung dengan nilai kecepatan putaran berbanding lurus (Yunus, Alsoufi, & Rathod, 2016) maka akan membuat nilai efisiensi meningkat.

Berdasarkan dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa *Stirling Engine* memiliki kerugian pada suhu termal disilinder power dan hal ini akan berpengaruh pada Rpm (*Rotation per minutes*), ketika Suhu menurun maka nilai putaran juga akan menurun, hal tersebut juga akan mempengaruhi nilai torsi pada mesin Stirling. Untuk membuktikan permasalahan diatas maka diperlukan adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh perubahan suhu pada nilai torsi dan putaran.

Terkait dengan pengembangan mesin Stirling, penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan cara kerja Stirling Engine tipe gamma melalui unjuk kerja Stirling Engine tipe Gamma. Selanjutnya penelitian ini diangkat dengan judul “Uji *Performance Stirling Engine* Tipe Gamma Menggunakan Spiritus Premium dan Pertamina”.

METODE

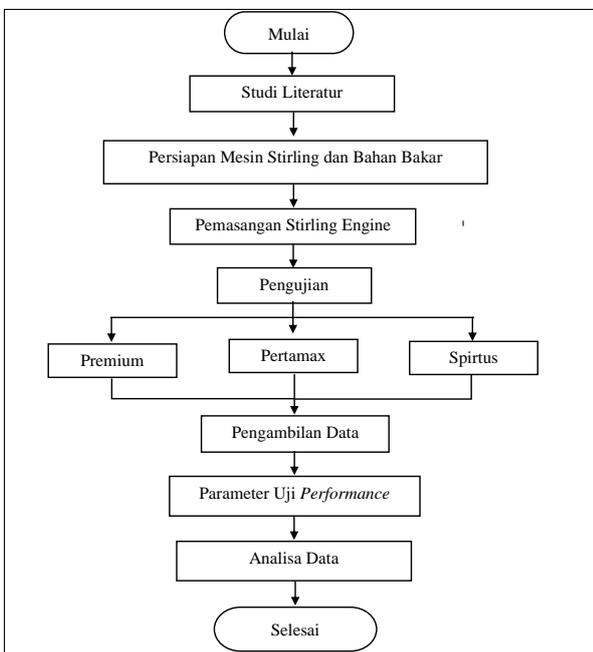
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Factorial Experimental. Factorial Experimental merupakan pengembangan dari Design True Experimental dengan meneliti pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat (Sugiyono, 2008). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari bahan 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 akan dianalisa menggunakan metode statistik deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Penelitian ini dilakukan pada bulan juli 2019 bertempat dikampus Fakultas Teknik, Universitas Wahidiyah, Kediri, Jawa Timur. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini mencakup sebagai berikut:

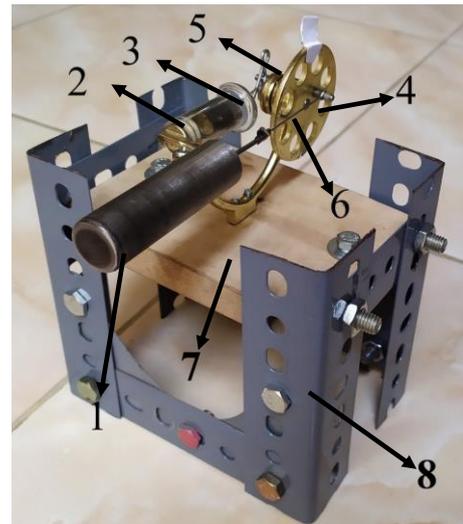
1. Alat
 - a. Infrared Thermometer.
 - b. Tachometer.
2. Bahan
 - a. Bahan bakar berupa spiritus, premium, dan pertamax.
 - b. Sumbu kompor dan botol kaca.

Pelaksanaan penelitian pada tahap awal (mulai) hingga tahap akhir (selesai) tersusun secara sistematis pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Kenampakan benda uji yang digunakan sesuai dengan gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 3. Alat Uji Stirling engine

Keterangan:

1. Displacer Hot
2. Heat Exchanger
3. Displacer Cold
4. Flywheel
5. Crankcase
6. Crankshaft
7. Alas Mesin Stirling
8. Penyangga Mesin Stirling

Variable percobaan dalam menentukan kinerja yaitu menggunakan bahan bakar premium, pertamax, dan spirtus. Variabel tetap dalam penelitian ini pengujian dilakukan sebanyak 3 kali percobaan yaitu rpm, torsi dan temperatur. Sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini ditetapkan dalam satu variabel bahan, yaitu menggunakan bahan bakar premium, bahan bakar pertamax, dan bahan bakar spirtus.

Teknik pengumpulan data untuk mengkarakterisasi hasil unjuk kerja mesin Stirling dengan menggunakan bahan bakar premium, pertamax dan spirtus. Teknik tersebut dilakukan dengan hasil penelitian yang mencantumkan waktu (s), RPM, Temperatur (°C), dan Torsi (Nm).

Data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk grafik dan table kemudian dianalisis menggunakan teknik

deskriptif tentang karakterisasi unjuk kerja mesin Stirling dengan mengukur efisiensi daya dan mendeskripsikan unjuk kerja Stirling Engine tipe Alpha dengan membandingkan efisiensi daya, torsi dan Rpm dengan menggunakan parameter dari proses pembakaran premium, pertamax, dan spritus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Cara kerja mesin Stirling memanfaatkan sumber panas yang dihasilkan dari proses pembakaran menggunakan spiritus, premium dan pertamax 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 suhu pada mesin Stirling menggunakan Termometer digital dengan cara menembakan laser pada ujung tabung *displacer power* dan tabung *displacer kompresi*. Pengukuran Rpm menggunakan Tachometer digital dengan cara menembakan laser pada alat bantu berupa kertas yang dipasang pada roda gila (*flywheel*). Bagian ini merupakan bagian utama artikel hasil penelitian dan biasanya merupakan bagian terpanjang dari suatu artikel. Hasil penelitian yang disajikan dalam bagian ini adalah hasil “bersih”.

Proses analisis data seperti perhitungan statistik dan proses pengujian hipotesis tidak perlu disajikan. Hanya hasil analisis dan hasil pengujian hipotesis saja yang perlu dilaporkan. Tabel dan grafik dapat digunakan untuk memperjelas penyajian hasil penelitian secara verbal. Tabel dan grafik harus diberi komentar atau dibahas.

Penelitian dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dalam satu waktu dengan bakar yaitu spritus, premium dan pertamax. Percobaan ini dilakukan dalam waktu 3 menit dan setiap menit dihitung perubahan temperatur dan RPM dari masing-masing bahan bakar. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 05 juli dalam waktu satu hari dan didalam ruangan dengan temperatur ruangan 29° C pada malam hari dan pada pukul 22:00 s/d 23:35. Penelitian ini menggunakan mesin Stirling dengan kapasitas temperatur maksimal 250° C. Dari percobaan tersebut didapatkan data sebanyak 36 data mentah.

1. Data Hasil Percobaan Bahan Bakar Spiritus

Tabel 1. Hasil Percobaan Bahan Bakar Spiritus

Percobaan	Waktu	Spiritus		
		T 1	T2	rpm
1	Start	70	27	500
	60	90	27	720
	120	80	28	820
	180	87	29	950
2	Start	75	29	340
	60	101	30	752
	120	121	30	961
	180	131	31	1094
3	Start	117	29	458
	60	122	30	900
	120	127	31	1058
	180	132	33	1070

2. Data Hasil Percobaan Bahan Bakar Premium

Tabel 2. Hasil Percobaan Bahan Bakar Premium

Percobaan	Waktu	Premium		
		T 1	T 2	RPM
1	Start	140	31	650
	60	175	32	1075
	120	180	35	1110
	180	210	38	1015
2	Start	140	34	343
	60	179	35	1003
	120	185	36	1040
	180	197	38	940
3	Start	120	33	243
	60	134	34	505
	120	155	37	934
	180	170	40	750

3. Data Hasil Percobaan Bahan Bakar Pertamax

Tabel 3. Hasil Percobaan Bahan Bakar Pertamax

Percobaan	Waktu	Pertamax
-----------	-------	----------

		T 1	T 2	RPM
1	Start	120	29	600
	60	175	32	1075
	120	180	35	1110
	180	210	38	1015
2	Start	230	31	530
	60	235	34	1053
	120	232	36	1111
	180	224	40	1003
3	Start	160	32	700
	60	180	34	900
	120	200	39	1040
	180	230	42	980

Kemudian data diatas akan disajikan dalam bentuk grafik untuk dianalisa secara deskriptif berdasarkan bahan bakar spiritus, premium, dan pertamax dengan analisa berupa perbandingan Rpm, nilai torsi dan temperatur tabung *displacer*.

Data yang telah diperoleh kemudian dihitung nilai torsi yang didapat dari setiap percobaan bahan bakar. Adapun perhitungan Torsi menggunakan persamaan sebagai berikut (Studi et al., n.d.):

$$V \text{ tabung displacer} = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

Maka massa batang displacer aluminium sebagai berikut:

$$M_{bp} = \rho_{aluminium} \cdot V_{bp}$$

Maka nilai percepatan piston:

$$V = N \cdot 2 \cdot S$$

$$Vt^2 = V0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Maka besaran F

$$F = m \cdot a$$

Kemudian didapatkan nilai torsi yang dihasilkan mesin *Stirling*

$$T = F \cdot I$$

1. Spiritus

Diket:

$$d.\text{puli} = 54 \text{ mm} = 0,054 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} V \text{ tabung displacer} &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\ &= 3,14 \cdot 0,027^2 \cdot 0,024 \\ &= 6,154 \text{ mm}^3 \\ &= 0,0061 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Massa batang displacer aluminium:

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

Diket:

$$N = 1070 \text{ rpm}$$

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

$$V0 = 0 \text{ m/s}$$

Maka nilai percepatan piston

$$\begin{aligned} V &= N \cdot 2 \cdot S \\ &= 1070 \cdot 2 \cdot 0,09 \end{aligned}$$

$$= 3,21 \text{ m/s}$$

$$Vt^2 = V0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$a = 114,4 \text{ m/s}^2$$

Maka besarnya F = m.a

$$= 1,9 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Maka nilai torsi yang dihasilkan

$$\begin{aligned} T &= F \cdot I \\ &= 0,051 \times 10^{-3} \text{ Nm} \end{aligned}$$

2. Premium

Diket:

$$d.\text{puli} = 54 \text{ mm} = 0,054 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} V \text{ tabung displacer} &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\ &= 0,00000615 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Massa batang displacer aluminium:

$$\begin{aligned} M_{bp} &= \rho_{aluminium} \cdot V_{bp} \\ &= 1,6 \times 10^{-3} \text{ Kg} \end{aligned}$$

Diket:

$$N = 1110 \text{ rpm}$$

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

$$V0 = 0 \text{ m/s}$$

Maka nilai percepatan piston

$$\begin{aligned} V &= N \cdot 2 \cdot S \\ &= 1110 \cdot 2 \cdot 0,09 \\ &= 3,3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Vt^2 = V0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$a = 123,2 \text{ m/s}^2$$

Maka besarnya F = m.a

$$= 2,04 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Maka nilai torsi yang dihasilkan

$$\begin{aligned} T &= F \cdot I \\ &= 0,0552 \times 10^{-3} \text{ Nm} \end{aligned}$$

3. Pertamax

Diket:

$$d.\text{puli} = 54 \text{ mm} = 0,054 \text{ m}$$

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

$$V \text{ tabung displacer} = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$= 0,0000061 \text{ m}^3$$

Massa batang displacer aluminium:

$$M_{bp} = \rho_{\text{aluminium}} \cdot V_{bp}$$

$$= 1,6 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

Diket:

$$N = 1111 \text{ rpm}$$

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

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

Maka nilai percepatan piston

$$V = N \cdot 2 \cdot S$$

$$= 1111 \cdot 2 \cdot 0,09$$

$$= 3,3 \text{ m/s}$$

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

$$a = 123,4 \text{ m/s}^2$$

Maka besarnya F = m.a

$$= 123,4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Maka nilai torsi yang dihasilkan

$$T = F \cdot l$$

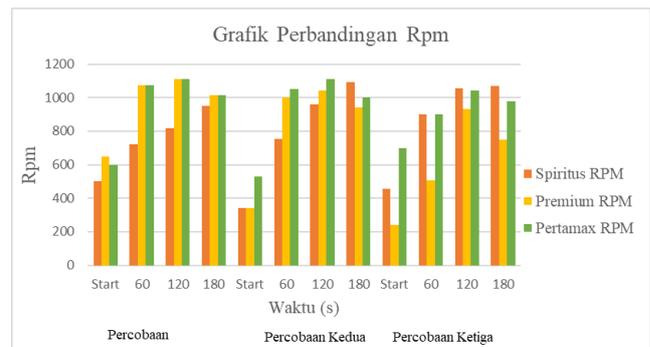
$$= 0,0553 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

Penggunaan bahan bakar berupa spiritus, premium, dan pertamax tersebut bertujuan untuk mengetahui kinerja dari Stirling Engine dengan menggunakan bahan bakar tersebut. Hal tersebut menghasilkan pengukuran temperatur, pengukuran Rpm, dan perhitungan torsi (Nm). Data dianalisa dengan cara membandingkan dari hasil percobaan setiap bahan bakar dan disajikan dalam bentuk grafik serta dianalisa dengan cara deskriptif sebagai berikut.

1. Analisis Perbandingan Rpm

Tabel 4. Perbandingan Rpm Setiap Bahan Bakar

Percobaan	Waktu	Spiritus	Premium	Pertamax
		Rpm	Rpm	Rpm
1	Start	500	650	600
	60	720	1075	1075
	120	820	1110	1110
	180	950	1015	1015
2	Start	340	343	530
	60	752	1003	1053
	120	961	1040	1111
	180	1094	940	1003
3	Start	458	243	700
	60	900	505	900
	120	1058	934	1040
	180	1070	750	980



Grafik 1. Perbandingan RPM Setiap Bahan Bakar

Grafik 1. menunjukkan perbandingan Rpm hasil percobaan dari 3 jenis bahan bakar. Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa Rpm tertinggi dihasilkan ketika percobaan pertama bahan bakar Spiritus pada saat 120 detik yang mencapai 900 lebih. Pada percobaan kedua dari bahan bakar spiritus dapat dilihat bahwa Rpm terus meningkat sampai pada angka 940. Hal ini disebabkan karena peningkatan temperautr terjadi secara konstan maka Rpm yang diberikan memberikan nilai yang berbanding lurus. Pada perobaan ketiga bahan bakar spiritus RPM mengalami peningkatan yang lamban disebabkan oleh kelelahan pada mesin *Stirling* sehingga Rpm tertinggi pada percobaan ketiga hanya mencapai 1070. Hal ini disebabkan karena peningkatan temperatur

yang terjadi secara lamban hanya mencapai 132 °C pada displacer panas.

Pada percobaan pertama bahan bakar premium Rpm terlihat menurun pada saat 180 detik, hal ini disebabkan karena penumpukan asap pembakaran yang menutupi silinder power. Secara keseluruhan Rpm yang dihasilkan dari bahan bakar premium dapat stabil dalam waktu percobaan 3 menit, namun karena terjadi penumpukan asap pembakaran pada displacer power mesin *Stirling* maka menyebabkan proses konduksi menjadi menurun dan berdampak pada nilai kecepatan putaran yang kemudian menurun secara perlahan.

Pada perobaan pertamax bahan bakar pertamax memberikan nilai Rpm tidak lebih baik dari bahan bakar sebelumnya, namun dapat start dengan Rpm 530 yang menunjukkan bahwa temperature yang diberikan bahan bakar pertamax lebih baik dari bahan bakar lainnya. Pada percobaan kedua bahan bakar pertamax menunjukkan nilai Rpm tertinggi dari percobaan bahan bakar pertamax hingga mencapai 1111. Secara keseluruhan Rpm yang diberikan oleh bahan bakar pertamax terus menurun diakibatkan penumpukan asap pembakaran pada displacer power mesin *Stirling*.

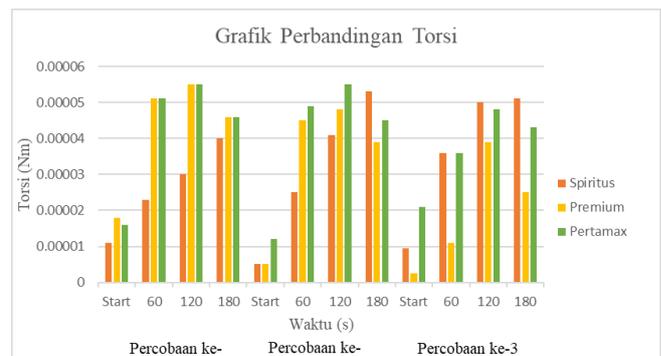
Dari penjelasan diatas bahwa performa Rpm dari bahan bakar spiritus pada mesin *Stirling* tipe *Gamma* akan menurun jika terjadi peningkatan perubahan temperature yang terjadi secara konstan hal ini searah dengan pendapat dari penelitian (Yunus et al., 2016) dengan judul *Design, Manufacture and Measurements of Beta-Type Stirling Engine with Rhombic Drive Mechanism*, yang menyatakan bahwa Rpm akan berbanding lurus dengan perubahan temperature jika meningkat secara perlahan.

2. Analisis Perbandingan Torsi

Tabel 5. Perbandingan Torsi Setiap Bahan Bakar

Percobaan	Waktu	Spiritus	Premium	Pertamax
		Torsi	Torsi	Torsi
1	Start	0,000011	0,000018	0,000016
	60	0,000023	0,000051	0,000051
	120	0,00003	0,000055	0,000055
	180	0,00004	0,000046	0,000046
2	Start	0,0000051	0,0000052	0,000012
	60	0,000025	0,000045	0,000049

3	120	0,000041	0,000048	0,000055
	180	0,000053	0,000039	0,000045
	Start	0,0000094	0,0000026	0,000021
	60	0,000036	0,000011	0,000036
	120	0,00005	0,000039	0,000048
	180	0,000051	0,000025	0,000043



Grafik 2. Perbandingan Torsi Setiap Bahan Bakar

Grafik 2. menunjukkan perbandingan Torsi hasil percobaan dari 3 jenis bahan bakar. Pada percobaan pertama bahan bakar spiritus nilai torsi tertinggi yang didapatkan sebesar 0,000053 Nm hal ini disebabkan karena Rpm yang dihasilkan dari bahan bakar spiritus ada pada puncaknya ketika di waktu 120 detik. Pada pecobaan kedua bahan bakar spiritus mengalami peningkatan nilai torsi yang cukup signifikan pada 2 menit terakhir yaitu mencapai 0,000053 Nm. Pada percobaan ketiga nilai torsi yang diberikan sedikit menurun dari percobaan sebelumnya disebabkan karena temperature yang meningkat secara perlahan.

Pada percobaan bahan bakar premium nilai torsi yang dihasilkan dari percobaan pertama sedikit lebih tinggi dibandingkan percobaan bahan bakar yang lain yang disebabkan Rpm pada saat start berbeda dan terjadi penurunan nilai torsi pada menit akhir yang disebabkan karena nilai kecepatan putaran menurun. Pada percobaan kedua bahan bakar premium terjadi penurunan nilai torsi secara perlahan yang hanya mencapai nilai 0,000039 Nm. Pada pecobaan ketiga nilai torsi terus menurun secara perlahan dari percobaan sebelumnya yang disebabkan oleh peningkatan temperature yang drastis dan kecepatan putaran RPM yang berbanding lurus dengan temperature. Dan hal ini juga disebabkan karena penumpukan asap pembakaran pada displacer power mesin *Stirling*.

Pada percobaan bahan bakar pertamax hasil dari nilai torsi jauh lebih tinggi dari percobaan bahan bakar sebelumnya pada 2 menit awal, hal ini disebabkan karena temperature yang diberikan bahan bakar pertamax lebih besar disbanding bahan bakar yang lainnya. Nilai torsi tertinggi dari percobaan bahan bakar pertamax mampu mencapai 0,0079 Nm, hal ini menunjukkan bahwa pertamax memiliki nilai temperature yang tinggi.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai torsi dipengaruhi oleh Rpm, bila Rpm terjadi penurunan maka nilai torsi juga akan menurun berbanding lurus dengan Rpm. Hal ini membuktikan penelitian dari (Karabulut et al., 2019) dengan judul penelitian *Performance prediction of a Martini type of Stirling engine* yang menyatakan bahwa nilai torsi dan nilai efisiensi mesin *Stirling* juga dipengaruhi oleh Rpm.

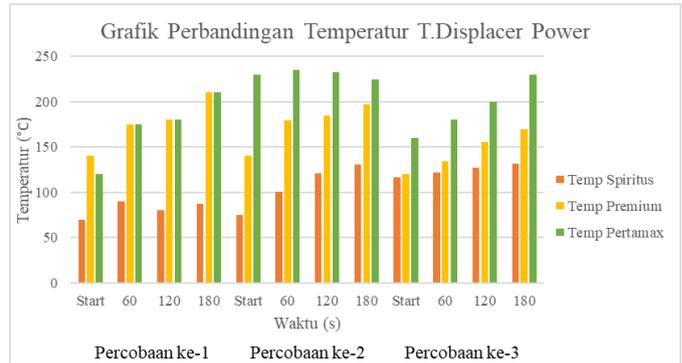
3. Analisis Perbandingan Temperatur Tabung Displacer

a. Temperatur Tabung Displacer Power

Tabel 6. Temperatur Pada Tabung Displacer Power Dari Setiap Bahan Bakar

Percobaan	Waktu	Spiritus	Premium	Pertamax
		T 1	T 1	T 1
1	Start	70	140	120
	60	90	175	175
	120	80	180	180
	180	87	210	210
2	Start	75	140	230
	60	101	179	235
	120	121	185	232
	180	131	197	224
3	Start	117	120	160
	60	122	134	180
	120	127	155	200
	180	132	170	230

Grafik 3. Temperatur Tabung Displacer Power Setiap Bahan Bakar



Grafik 3. menunjukkan perbandingan temperature tabung *displacer power* pada mesin *Stirling* dari setiap bahan bakar. Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa temperature tertinggi ada pada percobaan bahan bakar premium yang mencapai 210 °C dan temperature yang diberikan oleh bahan bakar premium menurun secara perlahan dari percobaan pertama hingga percobaan ketiga, namun terjadi peningkatan temperature yang drastis pada percobaan ketiga, hal ini menyebabkan Rpm mesin *Stirling* pada percobaan kedua bahan bakar premium mengalami penurunan dalam kurun waktu 60 detik. Bahan bakar premium mampu start pada temperatur 160°C dalam waktu kurang dari 60 detik.

Pada percobaan bahan bakar pertamax temperature yang diberikan terus meningkat secara perlahan dari tiap percobaan dan mampu start ditemperatur 120°C dengan waktu kurang dari 60 detik. Hal ini menunjukkan bahwa temperature yang diberikan oleh pertamax lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar lainnya yang hanya start ditemperatur 100°C. Peningkatan Rpm yang terjadi secara signifikan juga berdampak pada nilai kecepatan putaran mesin *Sirling* sehingga membuat Rpm menurun secara perlahan. Dan temperature maksimal yang diberikan oleh bahan bakar pertamax adalah 235°C.

Pada percobaan bahan bakar spiritus temperature yang diberikan terus meningkat dari tiap percobaan. Temperature yang diberikan oleh bahan bakar spiritus juga masih dibatas rata-rata antara bahan bakar lainnya dan temperature maksimalnya hanya mencapai 132°C. Bahan bakar spiritus mampu start dengan temperature 70°C dalam waktu kurang dari 60 detik.

Dari penjelasan diatas membuktikan bahwa penelitian dari (Yunus et al., 2016) pada kesimpulannya yang menyatakan bahwa peningkatan *performance* mesin

dipengaruhi oleh temperature dari pembakaran yang terjadi diluar tabung *displacer power*.

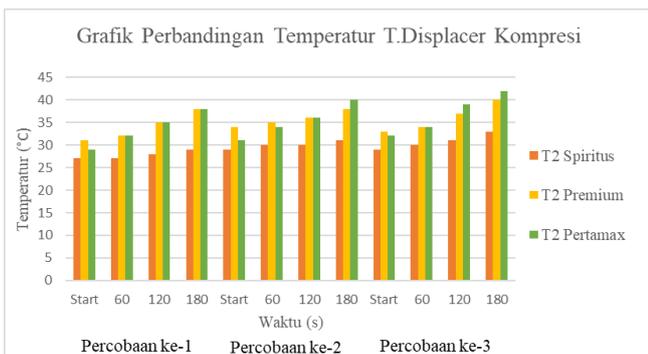
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Delly, 2009) berpendapat bahwa temperatur fluida (berupa uap) juga yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya perubahan phase uap dari zat cair pada fluida yang mengalir untuk mendorong tabung tabung *displacer*. Sedangkan semakin tinggi temperatur maka akan semakin berpengaruh terhadap besar dorongan tabung *displacer* dan *displacer* (Marjuki, 2017). Temperatur juga secara keseluruhan dapat mempengaruhi sifat mekanis bahan dari *displacer* tersebut (Gunawan, 2017).

b. Temperatur Tabung *Displacer* Kompresi

Tabel 7. Temperatur Pada Tabung *Displacer* Kompresi Dari Setiap Bahan Bakar

Percobaan	Waktu	Spiritus	Premium	Pertamax
		T2	T 2	T 2
1	Start	27	31	29
	60	27	32	32
	120	28	35	35
	180	29	38	38
2	Start	29	34	31
	60	30	35	34
	120	30	36	36
	180	31	38	40
3	Start	29	33	32
	60	30	34	34
	120	31	37	39
	180	33	40	42

Grafik 4. Temperatur Tabung *Displacer* Kompresi Setiap Bahan Bakar



Grafik 4 menunjukkan perbandingan temperature tabung *displacer* kompresi pada mesin Stirling dari setiap bahan bakar. Pada percobaan pertama bahan bakar spiritus temperature yang diberikan pada displacer dingin stabil diangka 27-29°C dan temperature akhir stabil diangka 29-33°C. Hal ini menunjukkan bahwa temperature yang diberikan oleh bahan bakar spiritus sangat stabil dari percobaan pertama hingga percobaan ketiga.

Pada percobaan bahan bakar premium tempertaur pada *displacer* dingin ketika start mampu mencapai 34°C dalam waktu kurang dari 60 detik, hal ini berdampak pada Rpm yang diberikan oleh bahan bakar premium yang kemudian akan membuat Rpm menurun drastis diakhir percobaan ketiga. Hal ini juga disebabkan karena

panas dari bahan bakar premium tidak meningkat secara perlahan di *displacer* panas.

Pada percobaan bahan bakar pertamax temperature pada *displacer* dingin ketika *start* dapat mencapai 32°C, hal ini disebabkan oleh temperature yang dihasilkan bahan bakar pertamax yang lebih panas di *displacer* panasnya. Peningkatan temperature pada bahan bakar pertamax juga meningkat secara perlahan, namun terjadi *overtemperature* pada percobaan kedua dan ketiga hingga mencapai 40-41°C yang mengakibatkan nilai kecepatan putaran menjadi menurun dalam 1 menit terakhir.

Dari penjelasan grafik diatas bahwa bila terjadi selisih antara temperature tabung *displacer power* dengan tabung *displacer* kompresi terlalu kecil makan akan membuat nilai Rpm mengalami penurunan, hal ini pernah dibuktikan oleh (Karabulut et al., 2019), yang menyatakan bahwa selisih temperatur dari tabung *displacer power* dan tabung *displacer* kompresi maka akan berpengaruh terhadap nilai Rpm, dan torsi.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian tentang uji *performance Stirling Engine* tipe *Gamma* dengan menggunakan 3 jenis bahan bakar, didapatkan nilai torsi maksimum pada percobaan bahan bakar spiritus dengan nilai sebesar 0,053x10⁻³ Nm, pada percobaan bahan bakar premium dengan nilai sebesar 0,055x10⁻³ Nm dan pada percobaan bahan bakar pertamax dengan nilai sebesar 0,055x10⁻³ Nm. Rpm maksimum dari bahan bakar spiritus sebesar 1070 Rpm, dari bahan bakar premium sebesar 1110 Rpm dan bahan bakar pertamax sebesar 1111 Rpm.

Dari hasil uji *performance Stirling Engine* tipe *Gamma* dapat disimpulkan bahwa bahan bakar dengan Rpm dan nilai torsi tertinggi untuk mesin Stirling dihasilkan oleh bahan bakar pertamax, hal ini disebabkan karena peningkatan temperature pada bahan bakar pertamax terjadi secara konstan dan juga bahan bakar pertamax memiliki temperature lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya sehingga membuat proses konduksi pada *displacer power* lebih baik

Saran

Saran yang perlu diperhatikan dari penelitian diantaranya, pengambilan sampel waktu akan lebih baik dilakukan pada saat siang hari agar membantu proses konduksinya. Untuk merancang mesin Stirling baru supaya dengan bahan Stainless Steel agar proses konduksinya menjadi lebih baik. Perlu dikaji lebih dalam tentang nilai efisiensi yang dipengaruhi oleh nilai RPM, torsi dan temperature. Begitu juga tentang nilai daya yang dihasilkan mesin Stirling ini dengan memberikan beban berupa lampu LED.

Yang terakhir supaya melakukan pembuktian dari penelitian (Bataneh, 2018) yang mengatakan bahwa kelemahan mesin Stirling berada pada proses pembakarannya yang dilakukan diluar dari tabung displacer..

miniatur mesin stirling, 69–76.

Sugiyono. (2008). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Yunus, M., Alsoufi, M. S., & Rathod, A. K. (2016). Design, Manufacture and Measurements of Beta-Type Stirling Engine with Rhombic Drive Mechanism. *Modern Mechanical Engineering*, 06(04), 113–128. <https://doi.org/10.4236/mme.2016.64012>

DAFTAR PUSTAKA

- Asnaghi, A., Ladjevardi, S. M., Izadkhast, P. S., & Kashani, A. H. (2012). Thermodynamics Performance Analysis of Solar Stirling Engines, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/321923>
- Bataneh, K. M. (2018). Numerical thermodynamic model of alpha-type Stirling engine. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12(December 2017), 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.03.010>
- Delly, J. (2009). Pengaruh temperatur terhadap terjadinya kavitasi pada sudu pompa sentrifugal, 1(1), 21–28.
- Diktat, Fakultas Teknik, U. D. P. (2007). Termodinamika teknik i, 203, 1–6.
- Gunawan, E. (2017). Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah (ST41), 1, 117–124.
- 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>
- Marjuki, I. (2017). Pengaruh Temperatur Pada Campuran Bahan Bakar Solar Dan Minyak Jelantah Terhadap Sudut Injeksi. *Cyber-Techn*, 12.
- Studi, P., Mesin, T., Krisnadwipayana, U., Gede, P., & Timur, J. (n.d.). Analisis daya yang dihasilkan