



RANCANG BANGUN MESIN STIRLING TIPE GAMMA MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Rahmat¹, Hery Sumardiyanto², Rifo Nur Laksana Restu³, Marhaendra Natawibawa⁴, Dean Anggara Putra⁵, Khairil Munawar⁶,

¹Universitas Sains Indonesia, Bekasi

²Universitas Sains Indonesia, Bekasi

³Universitas Sains Indonesia, Bekasi

Email: rahmat.r@lecturer.sains.ac.id, hery.sumardiyanto@lecturer.saims.ac.id,
rifo.nur@lecturer.sains.ac.id, mahendra.natawibawa@lecturer.sains.ac.id,
dean.anggara@lecturer.sains.ac.id, khairil.munawar@lecturer.sains.ac.id

ABSTRAK

Perancangan mesin Stirling tipe gamma ini menggunakan sebuah metoda teknik perancangan VDI 2221. Metode VDI 2221, yaitu sebuah pendekatan sistematis terhadap desain untuk system teknik dan produk teknik yang dijabarkan oleh G. Pahl dan W.Beitz (VDI = Verein Deutscher Ingeniure/Persatuan Insinyur Jerman). Metode ini diharapkan mampu mempermudah seorang perancang untuk menguasai sistematika perancangan dari sebuah produk tanpa harus belajar secara detail. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sebuah mesin stirling dengan energi keluaran sebesar 100 Watt serta kecepatan putar 1500 rpm, sehingga mesin ini dapat digunakan menjadi tenaga penggerak dari sistem mekanik. Rancangan yang terpilih menggunakan mesin stirling type gamma untuk sebuah kipas angin dengan 3 buah sudu. Setelah dilakukan pengujian, maka didapatkan kecepatan putar maksimum yaitu 3153 rpm, kecepatan putar rata-rata 1798 rpm, dengan efisiensi teoritis sebesar 63 % dengan daya keluaran sebesar 140 Watt.

Kata kunci: Mesin stirling gamma, Perancangan, VDI 2221

ABSTRACT

The design of this gamma type Stirling engine uses a VDI 2221 design technique method. The VDI 2221 method is a systematic approach to the design of engineering systems and engineering products described by G. Pahl and W. Beitz (VDI = Verein Deutscher Ingeniure / German Engineers Association). This method is expected to make it easier for a designer to master the systematic design of a product without having to learn in detail. The purpose of this study is to produce a stirling engine with an output energy of 100 Watts and a rotational speed of 1500 rpm, so that this engine can be used as the driving force of the mechanical system. The selected design uses a gamma type stirling engine for a fan with 3 blades. After testing, the maximum rotational speed was obtained, namely 3153 rpm, an average rotational speed of 1798 rpm, with a theoretical efficiency of 63% with an output power of 140 Watts.

Keywords: Gamma stirling engine, Design Engineering, VDI 2221

I. PENDAHULUAN

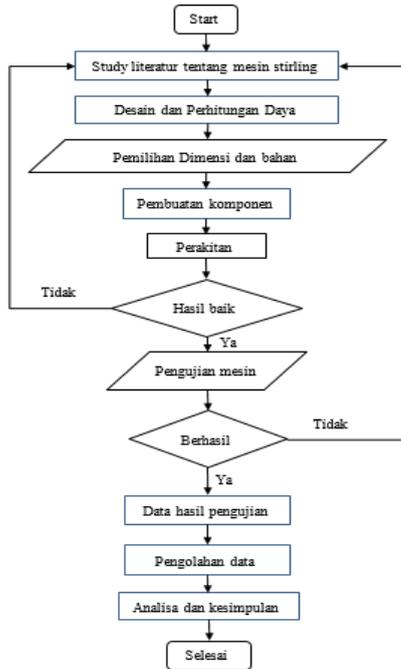
Dalam usaha mencari alternatif energi, mesin Stirling memiliki reputasi kerja yang baik dan masa kerja yang lama (diatas 20 tahun). Mesin Stirling memiliki potensi untuk

mencapai efisiensi tertinggi dari semua mesin kalor, secara teori sampai efisiensi maksimal mesin Carnot, meskipun demikian dalam prakteknya usaha ini masih dibatasi oleh berbagai sifat-sifat non-ideal baik itu dari fluida kerjanya maupun bahan dari mesin.

II. METODE PENELITIAN

Metode VDI 2221 terdiri dari 7 tahap, yang dikelompokkan menjadi 4 fase sebagai berikut :

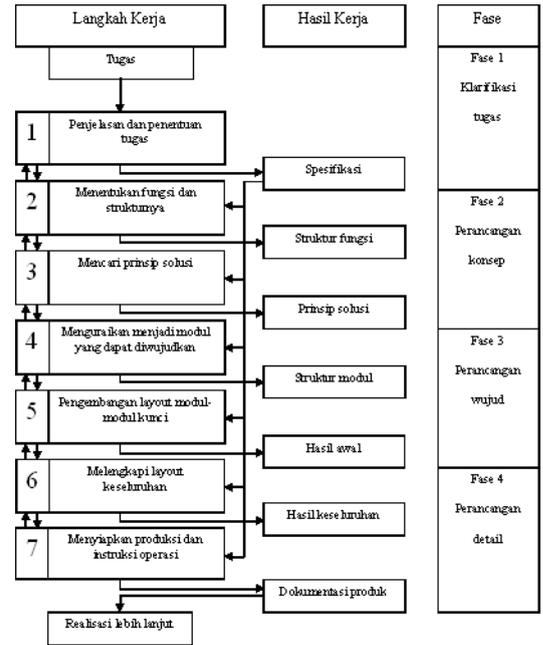
1. Penjabaran tugas
2. Perancangan dengan konsep
3. Pembentukan konsep
4. Perancangan dengan terperinci



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap Penjabaran Tugas

Langkah awal perancangan, di mulai dari pengumpulan informasi.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan

Spesifikasi Daftar Kehendak

Langkah ini merupakan dasar dalam melaksanakan langkah kerja lainnya.

Tabel 1. Daftar Kehendak

MAGISTER TEKNIK		SPESIFIKASI DAN SUB FUNGSI	IDENTIFIKASI KLASIFIKASI HALAMAN = 1
PERUBAHAN	D/W	DAFTAR KEHENDAK	PENANGGUNG JAWAB
1	D	Bahan uji : Mesin stirling tipe gamma dengan putaran minimal 250 rpm	
	D	Dimensi mesin Stirling ringan dan ringkas.	
2	D	Menghasilkan putaran yang cukup tinggi.	
	D	Tinggi alat 30 cm.	
	W	Mengikuti standart SNI tentang Kipas angin dan peralatan berputar.	
3	D	Besar gaya mesin yang dihasilkan pada mesin Stirling cukup besar.	
	D	Gaya mesin yang bekerja dirubah menjadi gaya Populasi gaya harus stabil.	
3	D	Putaran <i>flywheel</i> pembangkit gaya dapat	
	W	Kurva putaran vs waktu harus dapat	



Tabel 1. Lanjutan

MAGISTER TEKNIK		SPESIFIKASI DAN SUB FUNGSI	IDENTIFIKASI KLASIFIKASI HALAMAN = 1
PERUBAHAN	D/W	DAFTAR KEHENDAK	PENANGGUNG JAWAB
4	D	TENAGA (ENERGI) Mampu dioperasikan oleh energi 1 orang.	
	W	Sumber energi dari alat ini dapat mudah diubah dan dikembangkan lebih lanjut tanpa mengubah prinsip kerja dari alat.	
	D	Efisiensi harus tinggi.	
	D	Hubungan daya penggerak dengan yang digerakan sederhana.	
	W	Diharapkan temperatur rasio yang terjadi bisa menggerakkan mesin.	
	W	Energi penggerak didapat dari Pembakaran luar atau sinar matahari.	
5	D	MATERIAL (BAHAN) Bahan yang digunakan adalah besi struktur dan aluminium.	
	D	Material dipilih telah standar (dimensi rata-rata).	
	D	Bahan konstruksi harus tahan korosi.	
	W	Harga material / bahan baku tidak mahal (relative murah).	
	W	Bahan konstruksi yang digunakan mudah didapatkan	
6	D	KESELAMATAN/KEAMANAN Bagian yang bergerak/bekerja ditutup langsung.	
	D	Tidak membahayakan pengguna dan orang lain.	
	W	Tidak terlalu berisik	
7	D	PEMBUATAN/PRODUKSI Komponen yang digunakan adalah komponen standar.	
	D	Komponen utama dapat dibuat/ditangani sendiri.	
	D	Suku cadang harus mudah dibuat atau dapat dibeli di toko.	
	W	Proses pembuatan yang paling sesuai dikerjakan sendiri.	
	D	Mutu dan toleransi dapat dijaga kesesuaiannya.	
8	D	PERAKITAN Mesin dapat dibongkar dan dipasang sendiri.	
	D	Sistem perakitan komponen mesin mudah dipahami.	
	D	Dapat dibuat dan dirakit sendiri dirumah.	
9	D	TRANSPORTASI Peralatan mudah apabila dikirim	
	D	Mudah dipindah-pindah.	
10	D	PEMAKAIAN/OPERASI Dioperasikan secara manual.	
	D	Mesin mudah dipindah-pindahkan.	
	D	Operator tidak memerlukan keahlian khusus.	
	D	Pengoperasian mudah dipahami	
11	D	PERAWATAN Periode perawatan dilakukan 6 bulan sekali.	
	D	Sistem perawatan mesin mudah dipahami.	
	D	Perbaikan mesin harus mudah ditangani oleh mekanik	
	D	Biaya perawatan tidak terlalu mahal.	
12	D	LINGKUNGAN Bebas polusi dan tidak terlalu bising.	
13	D	DAUR ULANG Jika terjadi kerusakan dapat diperbaiki.	
14	D	BIAYA Biaya produksi pembuatan mesin Stirling dibuat serendah mungkin.	
15	D	JADWAL Waktu perakitan ditentukan.	
	D	Waktu pengujian ditentukan	

Abstraksi

Abstraksi adalah perumusan masalah dan analisa terhadap daftar kehendak.

Tabel 2. Abstrak I

PARAMETER	SPESIFIKASI	DEMAND (D) / WISHES (W)
GEOMETRI	Dimensi mesin stirling ringan dan ringkas.	D
	Menghasilkan putaran yang cukup tinggi.	D
	Tinggi alat 30 cm.	D
KINEMATIKA	Jenis gerakan rotasi.	D
	Arah gerak rotasi dan berulang	D
GAYA	Besar gaya mesin yang dihasilkan pada mesin Stirling cukup besar.	D
	Gaya mesin yang bekerja dirubah menjadi gaya rotasi.	D
	Populasi gaya harus stabil.	D
	Putaran flywheel pembangkit gaya dapat mencapai 250 rpm.	D
ENERGI	Mampu dioperasikan oleh energi 1 orang.	D
	Efisiensi harus tinggi.	D
MATERIAL (BAHAN)	Bahan yang digunakan adalah besi struktur dan aluminium.	D
	Material dipilih telah standar (dimensi rata-rata).	D
	Bahan konstruksi harus tahan korosi.	D
	Bagian yang bergerak/bekerja ditutup langsung.	D
	Tidak membahayakan pengguna dan orang lain.	D
PRODUKSI	Komponen yang digunakan adalah komponen standar.	D
	Komponen utama dapat dibuat/ditangani sendiri.	D
	Suku cadang harus mudah dibuat atau dapat dibeli di toko.	D
PERAKITAN	Mutu dan toleransi dapat dijaga kesesuaiannya.	D
	Mesin dapat dibongkar dan dipasang sendiri.	D
	Sistem perakitan komponen mesin mudah dipahami.	D
PENGOPERASIAN	Dapat dibuat dan dirakit sendiri dirumah.	D
	Dioperasikan secara manual.	D
	Mesin mudah dipindah-pindahkan.	D
	Operator tidak memerlukan keahlian khusus.	D
PERAWATAN	Pengoperasian mudah dipahami	D
	Periode perawatan dilakukan 6 bulan sekali.	D
	Sistem perawatan mesin mudah dipahami.	D
	Perbaikan mesin harus mudah ditangani oleh mekanik	D
	Biaya perawatan tidak terlalu mahal.	D

Tabel 3. Abstraksi II

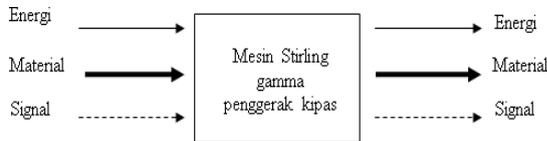
Tabel 4. Abstraksi III

PARAMETER	SPESIFIKASI	DEMAND (D) / WISHES (W)
FUNGSI	Dapat memutar sudu kipas	D
PRINSIP KERJA	Piston bergerak naik turun dengan memanfaatkan perbedaan suhu pada silinder, kemudian menggerakkan poros engkol dan memutar kipas	D
PERAKITAN	Mesin dapat dibongkar dan dipasang sendiri.	D
	Sistem perakitan komponen mesin mudah dipahami.	D
PENGOPERASIAN	Pengoperasian mudah dipahami	D

PARAMETER	SPESIFIKASI	DEMAND (D) / WISHES (W)
FUNGSI	Dapat memutar sudu kipas	D
PRINSIP KERJA	Piston bergerak naik turun dengan memanfaatkan perbedaan suhu pada silinder, kemudian menggerakkan poros engkol dan memutar kipas	D
KINEMATIKA	Arah gerak rotasi dan berulang	D
	Mesin dapat dibongkar dan dipasang sendiri.	
PERAKITAN	Sistem perakitan komponen mesin mudah dipahami.	D
	Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan sendiri	
PENGOPERASIAN	Pengoperasian mudah dipahami	D

Struktur Fungsi

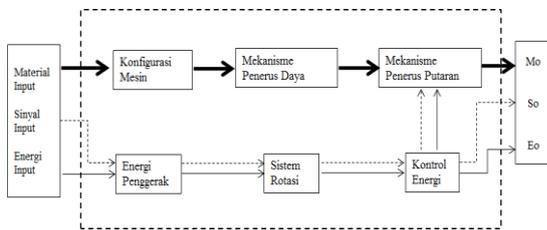
Struktur fungsi adalah sebuah rangkaian dari berbagai sub fungsi yang menjalankan fungsi keseluruhan.



Gambar 3. Struktur Fungsi Mesin Stirling

Sub Struktur Fungsi

Dari fungsi keseluruhan dibuat menjadi struktur fungsi dengan jalan memperkirakan sub-sub fungsi yang diperlukan.



Gambar 4. Sub Struktur Fungsi Mesin Stirling

Prinsip Solusi & Sub Varian

Prinsip solusi harus ditentukan untuk variasi sub fungsi di dalam suatu sistem.

Tabel 5. Prinsip Solusi

Prinsip Solusi / Sub Fungsi		Prinsip Solusi		
		1	2	3
1.	Konfigurasi Mesin			
2.	Mekanisme Penerus Daya			
3.	Kontrol Energi	Mata	Sensor	
4.	Mekanisme Penerus Putaran	2 Baling-baling	3 Baling-baling	4 Baling-baling
5.	Energi Penggerak	Matahari	Lampu Minyak	

Evaluasi Varian Konsep

Prinsip penilaian menurut VDI, dengan cara menentukan kriteria evaluasi dan bobot kriteria.

Tabel 6. Variasi Solusi

MAGISTER TEKNIK MESIN UNIVERSITAS PANCASILA		Tabel Pemilihan Variasi Struktur Fungsi Mesin Stirling Gamma Sebagai Penggerak Kipas Angin							
Variasi Prinsip Solusi	Kriteria Penilaian	Keputusan							
	+ Ya	= Solusi yang dicari							
	- Tidak	- Hapuskan solusi							
	? Kurang informasi	? Kumpulkan informasi							
! Periksa spesifikasi	! Lihat spesifikasi								
Sesuai dengan fungsi keseluruhan Sesuai dengan daftar kehendak Dalam batas biaya produksi Prinsipnya rasional dapat diwujudkan Sesuai keinginan perancang Efisiensi tempat Memenuhi syarat keamanan									
		A	B	C	D	E	F	G	Penjelasan
V1	1	+	+	-	+	-	-	-	Part terlalu mahal
V2	2	+	+	+	+	-	+	+	
V3	3	+	+	+	+	-	+	+	Part sulit dibuat

Menentukan Rating Varian

Menentukan rating varian diatas, dapat digunakan rumus:

$$WRJ = \frac{OWVj}{VMAX \sum_{i=1}^n Wt}$$

Maka didapatkan hasil :

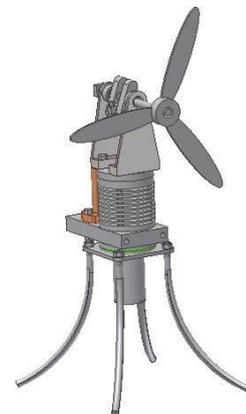
- Varian 1

$$WRJ = \frac{3.00}{3 \times 6} = 0.166$$
- Varian 2

$$WRJ = \frac{3.50}{3 \times 6} = 0.194$$
- Varian 3

$$WRJ = \frac{3.05}{3 \times 6} = 0.169$$

Karena varian no. 2 mendapatkan nilai paling tinggi di antara yang lain, maka dipilih sebagai pilihan utama.



Gambar 5. Konsep Mesin Stirling

III. PEMBUATAN DAN PENGUJIAN MESIN

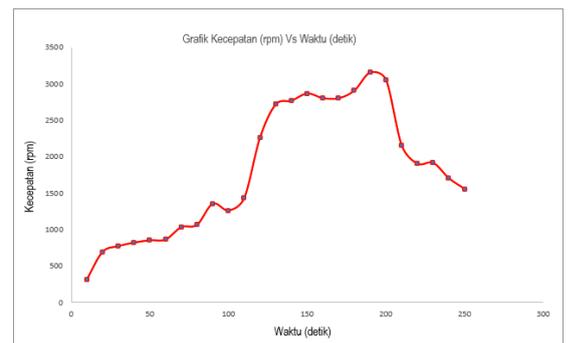
No Part	Nama Part	Proses fabrikasi yang dilakukan
1.	 Engine Base	<ol style="list-style-type: none"> 1. Engine base dipotong dari bahan aluminium dengan ukuran panjang 94 mm, lebar 49 mm & tebal 13 mm. 2. Dudukan untuk displacer silinder dibuat menggunakan mesin bubut dengan ukuran diameter luar 29 mm dan diameter dalam 27 mm. 3. 4 buah lubang untuk dudukan displacer silinder dibuat menggunakan mesin bor dengan dimensi 5 mm. 2 buah lubang untuk dudukan silinder power dibuat menggunakan mesin bor dengan dimensi baut M5. Lubang pemakar udara dibuat dengan dimensi M6 pada bagian samping dan diameter 6.5 pada bagian atas.
2.	 Displacer cylinder (Silinder dingin)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian silinder di potong dari bahan aluminium pejal dengan diameter 50 mm dan panjang 45 mm. 2. Strip pendingin dibuat dengan menggunakan mesin bubut dan pada bagian atas di bor dengan menggunakan mata bor 5 mm. 3. 4 buah lubang untuk dudukan hot end silinder dibuat menggunakan mesin bor dengan dimensi 5 mm.
3.	 Cover top cylinder	<ol style="list-style-type: none"> 1. 4 buah lubang untuk dudukan displacer silinder dibuat menggunakan mesin bor dengan dimensi 5 mm. 2. Lubang untuk connecting rod dibuat dengan mesin bor dengan diameter 6.5 mm.
4.	 Cold end cylinder top gasket	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gasket dibuat dari bahan asbes dengan dimensi tebal 0.5 mm. 2. 4 lubang dengan diameter 5 mm dibuat dengan mesin bor. 3. Lubang silinder dibuat dengan diameter 27 mm.
5.	 Cold end cylinder bottom gasket	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gasket dibuat dari bahan asbes dengan dimensi tebal 0.5 mm. 2. 4 lubang dengan diameter 5 mm dibuat dengan mesin bor. 3. Lubang silinder dibuat dengan diameter 29 mm.
6.	 Stand & bearing mounting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibuat dari bahan aluminium dengan dimensi tebal 3 mm. 2. Lubang untuk crank shaft di bor dengan diameter 10 mm. 3. Stand bagian bawah dibuat dengan panjang 44 mm, lebar 10 mm dan tinggi 8 mm. 4. 2 buah lubang di bor dengan diameter 5 mm. Dibuat dari bahan aluminium yang dibubut dengan diameter luar 16 mm dan diameter dalam 12 mm.
7.	 Cold end cylinder top cover gland	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibuat dari bahan perunggu atau kuningan yang dibubut dengan diameter luar 9.5 mm, diameter dalam 6.5 mm serta lubang 4 mm dan panjang 22.5 mm.
8.	 Crank shaft ball bearing	Ball bearing diambil dari spare part yang banyak di jual di pasaran.
9.	 Hot end cylinder gasket top	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gasket dibuat dari bahan asbes dengan dimensi tebal 5 mm. 2. 4 lubang dengan diameter 5 mm dibuat dengan mesin bor. 3. Lubang silinder dibuat dengan diameter 27 mm.
10.	 Hot end cylinder	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian silinder dipotong dari bahan aluminium pejal dengan diameter 50 mm dan tebal 5 mm. 2. Bagian ujung silinder dibubut dengan kedalaman lubang 50 mm dan tebal 1 mm. 3. 4 buah lubang untuk dudukan displacer silinder dibuat menggunakan mesin bor dengan dimensi 5 mm.
11.	 Cylinder power	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibuat dari bahan perunggu atau kuningan. 2. Dibor dengan diameter dalam 19 mm dan dibalaskan permukaannya agar piston dapat bergerak bebas dengan sedikit gesekan. Ujung plat disambungkan dengan cara dilas atau patri.
12.	 Standard leg mounting plate	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibuat dari mild steel dengan tebal 3 mm. 2. 4 buah lubang terluar dibor dengan diameter 6 mm. 3. 4 buah lubang tengah dibor dengan diameter 5 mm. 4. 1 buah lubang besar dibubut dengan diameter lubang 29 mm.
13.	 Standard leg	Dibuat dari mild steel dengan diameter 6 mm, bagian ujungnya ditap dengan ukuran baut M6.
14.	 Crank shaft	Dibuat dari aluminium dengan cara dibubut dengan diameter 6.5 mm. Dua buah crank dibuat dengan panjang 38 mm, lebar 10 mm dan tebal 10 mm. Lubang tengah dibor dengan diameter 6.5 mm dan lubang atas dibor dengan diameter 4 mm serta ditap dengan baut M4
15.	 Displacer connecting rod	Dibuat dari aluminium dengan cara dibubut dengan diameter 5 mm dengan panjang 57.5 mm
16.	 Piston displacer body	Dibuat dari bahan kuningan yang dibubut dengan diameter luar 25.5 mm dan diameter dalam 24.5 mm dengan panjang 78 mm.
17.	 Piston displacer bottom cap	Dibuat dari bahan kuningan yang dibubut dengan diameter luar 25.5 mm dan diameter dalam 24.5 mm dengan panjang 9.5 mm.
18.	 Piston displacer top cap	Dibuat dari bahan aluminium yang dibubut dengan diameter luar 25.5 mm dan diameter dalam 24.5 mm dengan panjang 35 mm serta dibuat thread M4 sepanjang 6.5 mm.

Pengujian *hardware* mesin dilakukan untuk menguji kecepatan putar dari *fly wheel (fan)*.



Gambar 6. Mesin Hasil Pengembangan Tabel 8. Kecepatan Putar Mesin Stirling

No	Waktu (detik)	Kecepatan (RPM)	Δn (RPM)	α (rad/s ²)
1	10	310.5		
2	20	688.3	377.8	3.9543
3	30	768.7	80.4	0.8415
4	40	816.8	48.1	0.5034
5	50	848.9	32.1	0.336
6	60	858.6	9.7	0.1015
7	70	1029	170.4	1.7835
8	80	1061	32	0.3349
9	90	1351	290	3.0353
10	100	1257	-94	-0.9839
11	110	1429	172	1.8003
12	120	2257	828	8.6664
13	130	2713	456	4.7728
14	140	2765	52	0.5443
15	150	2864	99	1.0362
16	160	2800	-64	-0.6699
17	170	2799	-1	-0.0105
18	180	2905	106	1.1095
19	190	3153	248	2.5957
20	200	3052	-101	-1.0571
21	210	2152	-900	-9.42
22	220	1900	-252	-2.6376
23	230	1912	12	0.1256
24	240	1700	-212	-2.2189
25	250	1554	-146	-1.5281
Rata-rata		1797.8	49.7	0.5206



Gambar 7. Grafik Kecepatan Putar Mesin Stirling

Berdasarkan gambar 7 terlihat bahwa, mesin membutuhkan waktu 130 detik untuk mencapai kecepatan putar rata-rata. Pada 10 detik pertama, mesin hanya berputar perlahan, tetapi memasuki 20 detik kedua putaran mesin terlihat mulai naik. Pada 90 detik berikutnya,



putaran mesin kembali turun. Hal ini diakibatkan karena pasokan panas pada silinder panas belum merata pada setiap bagian dinding silinder panas.

Terjadi fluktuasi putaran yang cukup signifikan pada 10 sampai 100 detik pertama. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan oleh *burner* belum merata pada dinding silinder panas.

Perhitungan Torsi

Perhitungan torsi dilakukan untuk mengetahui besar torsi yang ditimbulkan oleh *flywheel* yang diasumsikan sebagai kipas.

A. Perhitungan momen inersia untuk *flywheel* adalah sebagai berikut :

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) mr^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) 0.3023kg \times 0.19^2m$$

$$= 0.00546 kg.m^2$$

B. Momen inersia yang dihasilkan oleh poros engkol adalah sebagai berikut:

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) mr^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) 0.0848kg \times 0.006^2 m$$

$$= 0.0000015 kg.m^2$$

C. Perhitungan momen inersia yang dihasilkan oleh piston *displacer* adalah sebagai berikut:

$$I = mr^2$$

$$= 0.00502 kg \times 0.0255^2m$$

$$= 0.00000326 kg.m^2$$

Sehingga momen inersia totalnya adalah:

$$I_{tot} = I_{flywheel} + I_{poros} + I_{piston}$$

$$= 0.00546 + 0.0000015 + 0.00000326 kg.m^2$$

$$= 0.005465 kg.m^2$$

Torsi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$T = F \times l$$

Dimana :

$$F = m \times a$$

$$F = (massa_{Flywheel} + massa_{Crank shaft} + massa_{piston}) \times a$$

$$= (0.3023 + 0.0848 + 0.00502kg) \times 9.81 m/s^2$$

$$= 3.8467 N$$

Sedangkan *l* adalah panjang total dari *crank shaft* yaitu 0.111 m. Jadi Torsi dapat kita hitung;

$$T = 3.8467 N \times 0.111 m$$

$$= 0.42698 N.m$$

Sehingga kita bisa mencari berapa daya mesin, sebagai berikut:

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

$$= \frac{2 \times 3.14 \times 3153 \times 0.42698}{60}$$

$$= 140 watt$$

Perhitungan Efisiensi mesin

Perhitungan efisiensi mesin dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

Input daya ke sistem diperkirakan dengan mengambil perbedaan suhu antara bagian yang dipanaskan dan *heat sink*, sebagai berikut;

$$Energy input per detik = Massa udara \times Udara C_p \times \Delta T$$

Namun massa udara dapat dihitung sebagai;

$$Massa = Density(\rho) \times volume(v)$$

Oleh karena itu, dengan mengambil nilai $\rho = 1.2kg/m^3$, $v = 1200 \times 10^{-6}m^3$

$$Kapasitas panas spesifik, C_p = 1005 J/kg K$$

$$Perubahan temperatur, \Delta T \approx (600 - 50) = 550 K$$

$$Masukan energi per detik = 1.2 \times 1000 \times 10^{-6} \times 1005 \times 550 = 663 J/s$$

Dengan mengambil output daya seperti yang diperkirakan oleh persamaan Beale; yaitu; Output daya = 45 watt

Maka dari itu, efisiensi dapat dihitung sebagai berikut:

$$Efisiensi\ Aktual = \frac{45}{663} \times 100 = 6.7\%$$

Dengan demikian efisiensi mesin sebenarnya adalah 6.7 %. Ini dapat dibandingkan dengan efisiensi mesin stirling teoritis Ideal, yang secara teoritis sama dengan efisiensi Carnot sebagai;

$$Efisiensi\ teoritis\ ideal = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$
$$= \left(1 - \frac{50 + 273.15}{600 + 273.15}\right) \times 100 = 63 \%$$

IV. KESIMPULAN

Daya keluaran yang dihasilkan oleh mesin stirling tergantung dari besar kecilnya diameter silinder tenaga serta masukan panas yang dihasilkan oleh *burner*. Semakin tinggi panas yang dapat dihasilkan, maka daya keluaran yang dihasilkan oleh mesin stirling akan besar pula. Dari hasil pengujian, didapatkan daya keluaran mesin stirling yang di rancang adalah sebesar 140 Watt dengan putaran maksimum sebesar 3153 rpm.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa nilai dari perubahan suhu sangat berpengaruh terhadap kecepatan putar dari mesin stirling. Semakin tinggi suhu yang dipasok ke silinder panas, maka semakin tinggi pula kecepatan putar dari mesin. Hal ini dapat dibuktikan dengan cara menjauhkan atau menghentikan pasokan panas pada silinder panas, maka perlahan kecepatan putar dari mesin akan semakin menurun dan akhirnya berhenti setelah beberapa saat.

Hasil pengujian dan perhitungan didapatkan efisiensi sebesar 63 %, sehingga pengembangan mesin stirling tipe gamma dapat dilakukan dengan cara memodifikasi bagian dari mesin, yaitu bagian *flywheel* yang kemudian ditambahkan beberapa sudu kipas. Sehingga gabungan dari *flywheel* dan sudu

kipas akan membentuk sebuah kipas angin. Bagian silinder panas dibuat dibagian bawah dengan harapan agar panas dari pembakaran arang pemanggang sate bisa digunakan sebagai tenaga masukan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Karabulut, Halit. “*Manufacturing and Testing of a V-Type Stirling Engine*”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 24 (2000) :71 - 80.
- [2]. Apandi, Puzi Ultra. “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Stirling Engine Generator Magnet Permanen” UIN Sultan Syarif Kasim, Riau 2015.
- [3]. Nazila, Intan Putri. “Unjuk Kerja mesin Stirling Tipe Gamma Dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik Dan Sistem Aliran Air Pada Reservoir Rendah”, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang 2016.
- [4]. Manab, Rahmat Chandra. “Rancang Bangun Model Mesin Stirling Sebagai Pembangkit Tenaga Surya Termal, Universitas Sebelas Maret, Surakarta 2016.
- [5]. Ajay Ashok and Arundas S. “*Design and Fabrication of Gamm-Type Stirling Engine With Rotary Displacer*”, IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume 4 – April 2015.
- [6]. Narayan, Sunny & Vikas Gupta. “*Overview Of Working Of Stirling Engine*”, Journal of Engineering Studies and Research, Volume 21 No 4 - 2015.
- [7]. Dawi, Syed Mohamad Hisyam Wan and Muhammad Murtadha Othman. “*Gamma Stirling Engine for a Small Design of Renewable Resource Model*”, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 8, No. 2, November 2017.



- [8]. Kwasi Effah C.C & Obanor A.I. “*Performance Appraisal of a Gamma-Type Stirling Engine*”, International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering 2017; 5(4): 51-53.
- [9]. Yerbury, Alex and Alex Coote. “*Design Of A Solar Stirling Engine For Marine And Offshore Application*”, International Journal Renewable Energy Technology, Vol. 7, No. 1, 2016.
- [10]. Nezemi, Seyyed Danial and Mehrdad Boroushaki. “*Design, Analysis and Optimization of a Solar Dish/Stirling System*”, International Journal of Renewable Energy Development 5 (1) 2016: 33-42.
- [11]. Widodo. “*Studi Eksperimen Output Daya Pada Motor Stirling Td 295 Tipe Gamma Dengan Menggunakan Stirling Engine Control*” V.1.5.0 – 2013.
- [12]. Cronenberg, G. “*The Stirling Engine*”. Uppsala University, Sweden – 2005.
- [13]. Vineeth, CS. “*Stirling Engine : A Beginner guide*”. Mechanical Engineering at College of Engineering Thiruvananthapuram, India – 2012.
- [14]. N.A. Kanyonga and W.S. King’ori. “*Hybrid Stirling Engine*”, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University Of Nairobi, Kenya - 2012.
- [15]. T.D. Easttop and A. McConkey. “*Fifth impression, Applied Thermodynamics for engineering technologists*”, Pearson Education Ltd, India, 2009.
- [16]. A. Freddi. “*Course on Design-CeUB Bertinoro*”. Diem University of Bologna, Italia – 2006.
- [17]. Boothroyd, G., Peter Dewhurst, W.Knight. “*Product design for manufacture and assembly*”. Taylor & Francis Group, Florida – 1994.
- [18]. Sheng-Hsien (Gary) Teng dan Shin-Yann (Michael) Ho,” *Failure mode and effect analysis an integrated approach for product design and process control*”, North Carolina A & T State University, Greensboro USA dan Sterling Height USA - 1995.
- [19]. G.Pahl and W.Beitz. “*Engineering Design A Systematic Approach*”. Spriner-Verlag, London - 1996.
- [20]. B. Kongtragool, S. W. ”A review of solar-powered Stirling engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, 2003.
- [21]. Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke. “*Mechanical Engineering Design*”, Fifth Edition, McGraw-Hill Publishing Co, 1989.
- [22]. Sularso, Kiyokatsu Suga. “*Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*”, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
- [23]. Kusumo, P., Setyaningrum, R., & Tjahyono, R. (2022). Design of an Ergonomic Crackers Dryer to Increase Production Productivity at Rahayu Krupuk SME. *Proceedings of the 4th Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering*, 31–34.
- [24]. Kusumo, P., Setyaningrum, R., & Tjahyono, R. (2021). Perancangan Pengereng Kerupuk “Smart Fuse Water Dryer” Yang Ergonomis Untuk Meningkatkan Produktivitas Produksi Di Ukm Rahayu Kerupuk. *Jurnal Simetris*, 12 (2).