

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil pengukuran surya

Cara pengukuran akan dilakukan dengan memanaskan air seberat 480 gram di atas pengumpul sinar. Suhu awal akan diukur terlebih dahulu dengan menggunakan termometer, selanjutnya akan diukur kembali suhu akhir dari air hingga terjadi perubahan suhu. Setelah semua nilai parameter hasil pengukuran didapatkan, maka bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1) yaitu :

$$Q = m.c.\Delta T$$

Menggunakan sinar matahari maka :

Energi Masuk ( $P_{in}$ ) :

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta t \\ &= 0,48 \cdot 4180 \cdot (31 - 30) \\ &= 0,48 \cdot 4180 \cdot 1 \\ &= 2006,4 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi keterbatasan sinar matahari dan fleksibilitas pengukuran maka matahari digantikan oleh lampu 40 watt dengan jarak 4,8 cm sehingga panas yang dihasilkan sama dengan panas yang dihasilkan oleh matahari. Dengan kata lain sinar lampu sudah dikalibrasi terhadap surya yang sesungguhnya.

Untuk mengukur daya masuk sinar dapat menggunakan persamaan (2.2) dengan asumsi posisi matahari tegak lurus menyinari mesin *stirling*. Dimana :

$$P_{in} = \frac{Q}{t}$$

Maka diperoleh hasil :

$$P_{in} = \frac{Q}{t}$$

$$P_{in} = \frac{2006,4}{900}$$

$$= 2,229 \text{ Watt}$$

## 4.2 Pembuatan Mesin *Stirling*

### 4.2.1 Membuat silinder utama dan melubangi sisi dingin silinder

Lubang yang dibuat adalah lubang poros piston *displacer* dan lubang silinder tenaga dengan diameter sebesar 4 mm. Silinder utama dibuat kedap udara agar tidak ada udara yang keluar ketika mesin dipanaskan.



**Gambar 4.1** Silinder utama

#### 4.2.2 Membuat silinder tenaga dan penahan stang poros piston *displacer*

Penahan stang poros *displacer* ditempatkan tepat ditengah sisi dingin silinder utama. Hal ini untuk membuat kerja piston *displacer* stabil.



**Gambar 4.2** Silinder tenaga dan penahan poros piston *displacer*

#### 4.3.3 Membuat diafragma yang berfungsi sebagai piston tenaga

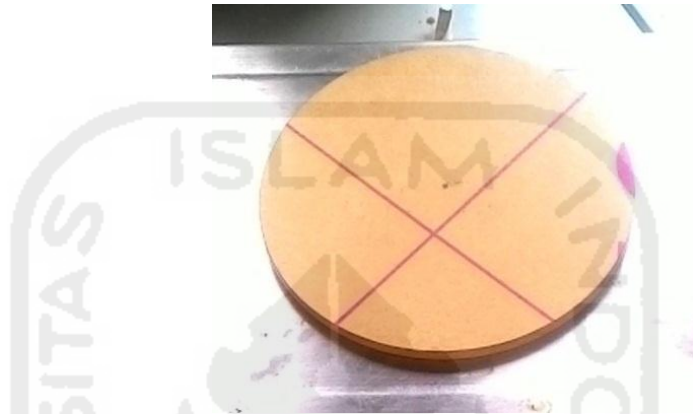
Sama halnya dengan membuat silinder utama, silinder tenaga dibuat kedap udara. Hal ini agar menjaga tidak ada udara yang keluar saat pemanasan mesin.



**Gambar 4.3** Diafragma yang ada pada silinder panas

#### 4.3.4 Membuat *flywheel*. *Flywheel* dibuat dari bahan akrilik.

Bahan akrilik dipilih sebagai bahan utama *flywheel* karena memiliki struktur yang kokoh dan ringan.



**Gambar 4.4** *Flywheel*

#### 4.3.5 Membuat poros dan penyangga *flywheel*

Membuat poros engkol harus menyesuaikan jarak antar poros piston *didplacer* dan poros piston tenaga. Hal ini bertujuan untuk mensimetriskan silinder tenaga dan poros piston *didplacer*. Sedangkan penyangga *flywheel* dibuat sekokoh mungkin agar dapat menahan beban *flywheel* tersebut.



**Gambar 4.5** Penyangga *flywheel*

#### 4.3.6 Membuat engkol poros *flywheel*.

Engkol tersebut berasal dari klip kertas yang membentuk sudut siku-siku. Engkol yang terhubung dengan stang poros piston displacer mengarah pada posisi jam 6 pada kondisi normal (piston *displacer* berada di bawah). Sedangkan engkol yang terhubung dengan stang poros piston power mengarah pada posisi jam 3 pada posisi normal (diahfragma pada kondisi normal).



a

b

**Gambar 4.6** Poros engkol yang terhubung ke piston *displacer* (a) ke piston tenaga (b)

#### 4.3.7 Membuat piston *displacer*

Piston dibuat dari *polystyrine* yang dibungkus oleh *aluminium foil*. Bahan tersebut dipilih karena bahannya ringan. Bahan yang ringan sangat cocok digunakan pada mesin *stirling* dengan pemanasan rendah.



**Gambar 4.7** Piston *displacer*

#### 4.3.8 Menghubungkan piston *displacer* dan piston tenaga ke engkol poros *flywheel*.

Piston *displacer* dihubungkan ke engkol poros dengan menggunakan *coil*. *Coil* digunakan karena sangat kuat dan fleksibel. Sedangkan piston tenaga dihubungkan ke poros engkol dengan menggunakan kawat yang tidak mudah bengkok sehingga dapat menahan beban *flywheel* ketika berputar.



**Gambar 4.8** Piston *displacer* dan piston tenaga terhubung ke engkol poros *flywheel*

4.3.9 Menghubungkan semua bagian mesin *stirling* menjadi satu sistem kerja.

Pada tahap ini akan dilakukan *finishing* atau penyempurnaan tampilan dari mesin *stirling* dengan melakukan pengecatan.



**Gambar 4.9** Mesin *Stirling*

Setelah proses pembuatan mesin *stirling* selesai dibuat, maka tahap selanjutnya adalah membuat pengumpul sinar mesin *stirling*. Bahan yang

digunakan adalah satu buah kaleng *wafer roll* dan dua buah *lolly stick*. Hasil dari pembuatan pengumpul sinar dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.10** Pengumpul sinar matahari

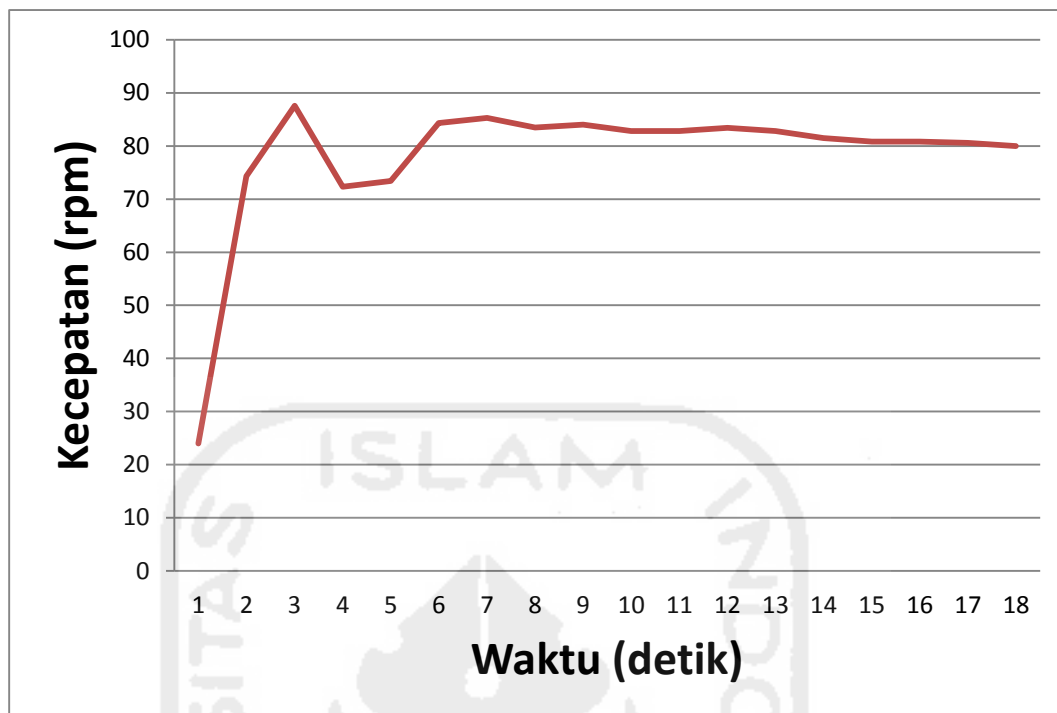
#### **4.3** Pengujian *Hardware*

Percobaan pengujian ini adalah untuk menguji kecepatan putar *fly wheel* yang dimaksudkan untuk agar diketahui kemampuan mesin stirling dalam hal kecepatan putarnya. Nilai parameter yang diukur adalah kecepatan putar mesin stirling (rpm). Kecepatan putar akan diukur mulai diukur dari kecepatan putaran awal pada saat lima detik pertama hingga tiga menit berselang. Nilai parameter yang diambil adalah kecepatan putar (rpm) terhadap waktu. Berikut variasi data hasil pengukuran kecepatan dari mesin *stirling* yang ditunjukkan oleh tabel dibawah ini.



**Tabel 4.1** Kecepatan putar mesin *stirling*

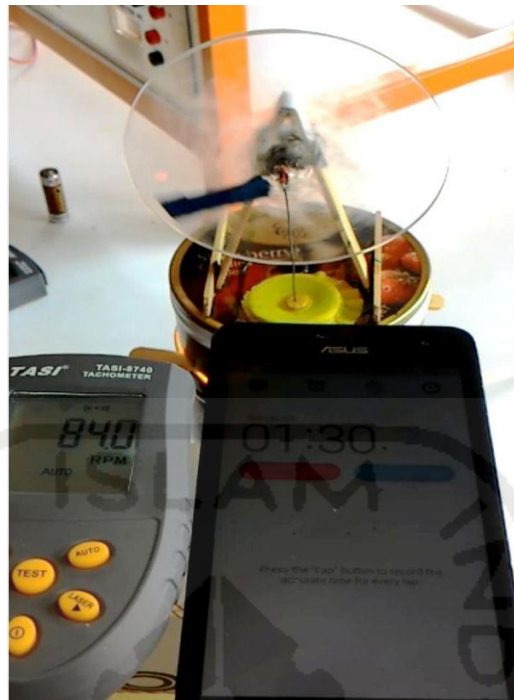
No	Waktu (detik)	Kecepatan (RPM)	$\Delta n$ (RPM)	$\alpha$ (rad/s <sup>2</sup> )
1	10	24		
2	20	74,3	50,3	0,526473
3	30	87,6	13,3	0,139207
4	40	72,3	-15,3	-0,16014
5	50	73,4	1,1	0,011513
6	60	84,3	10,9	0,114087
7	70	85,3	1	0,010467
8	80	83,5	-1,8	-0,1884
9	90	84	0,5	0,052333
10	100	82,8	-1,2	-0,01256
11	110	82,8	0	0
12	120	83,4	0,6	0,00628
13	130	82,8	-0,6	-0,00628
14	140	81,5	-1,3	-0,01361
15	150	80,8	-0,7	-0,00733
16	160	80,8	0	0
17	170	80,6	-0,2	-0,00209
18	180	80	-0,6	-0,00628
Rata – Rata		78	3,294	0, 027



**Gambar 4.11** Grafik kecepatan putar mesin *stirling*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.11 dapat diketahui bahwa mesin *stirling* membutuhkan lebih dari 20 detik untuk bisa mencapai kecepatan putar rata – rata. Setelah 30 detik mesin mengalami penurunan rpm. Putaran yang tidak stabil ini akibat dari belum cukupnya panas yang ada pada silinder utama.

Menariknya setelah memasuki waktu 50 detik mesin perlahan–lahan kembali performa putaran rata-ratanya. Memasuki menit kedua mesin berjalan dengan stabil. Hal ini menunjukkan panas yang ada pada silinder utama telah cukup.



**Gambar 4.12** Pengujian mesin *stirling*

#### 4.4 Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk dapat menghitung berbagai parameter pendukung mesin *stirling* tersebut. Perhitungan yang dilakukan antara lain.

- a. Perhitungan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin silinder utama

Ketika dilakukan penyinaran, temperatur pada sisi panas silinder utama adalah  $103^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada sisi dinginnya  $43^{\circ}\text{C}$ . Jadi perbedaan temperatur pada kedua sisi silinder utama adalah  $60^{\circ}\text{C}$ .

Temperatur panas lampu harus dijaga agar tetap konstan. Karena jika panasnya meningkat akan mempengaruhi kecepatan putar *flywheel* bahkan bisa menyebabkan mesin berhenti berputar. Panas akan merambat

ke sisi dingin silinder utama dan mengakibatkan hilangnya perbedaan suhu.

b. Perhitungan torsi

Hal tersebut dilakukan agar mengetahui besar torsi yang dapat ditimbulkan oleh *flywheel* tersebut.

Perhitungan momen inersia yang dihasilkan oleh *flywheel* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I &= (1/2) mr^2 \\ &= (1/2) 0,028 \cdot 0,05^2 \\ &= 0,000035 \text{ Kg m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan momen inersia yang dihasilkan oleh poros engkol adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I &= (1/2) mr^2 \\ &= (1/2) 0,000123 \cdot 0,0005^2 \\ &= 0,000000000015375 \text{ Kg m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I &= mr^2 \\ &= 0,005132 \times 0,005^2 \\ &= 0,0000001283 \text{ Kg m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga momen inersia totalnya adalah

$$\begin{aligned} I_{\text{tot}} &= I_{\text{flywheel}} + I_{\text{poros}} + I_{\text{piston}} \\ &= 0,000035 + 0,000000000015375 + 0,0000001283 \\ &= 0,00003512 \text{ Kg m}^2 \end{aligned}$$

Torsi dapat diketahui melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T &= I_{\text{tot}} \cdot \alpha \\ &= 0,00003512 \times 0,526473 \\ &= 0,0000184 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Perhitungan daya yang dihasilkan mesin *stirling*

Besar daya tersebut dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \frac{2\pi nT}{60} \\ P &= \frac{2\pi 87,6 \times 0,0000184}{60} \\ P &= 0,000169 \text{ Watt} \end{aligned}$$

d. Perhitungan efisiensi

Nilai efisiensi mesin *stirling* ini adalah

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} 100\% \\ \eta &= \frac{0,000169}{2,229} 100\% \\ \eta &= 0,0075\% \end{aligned}$$

#### 4.5 Pembahasan

Berdasarkan pengujian hardware yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa mesin dapat bergerak. Kecepatan putar maksimumnya adalah 87.6 rpm. Kecepatan putar rata-ratanya adalah 78,0 rpm. Hal ini didapat dipahami karena jenis mesin yang digunakan adalah jenis LTD *stirling engine*. Faktor lain yang dapat menyebabkan nilai rpm rendah adalah desain dari mesin *stirling* tersebut. Hal yang perlu diperhatikan pada bagian desain

adalah pada bagian poros *flywheel* yang bersinggungan dengan penyangga *flywheel*. Disini banyak terjadi gesekan yang bisa mengakibatkan berkurangnya nilai putar serta akan berdampak pada nilai efisiensi. Selain itu panjang poros *flywheel* juga dapat mempengaruhi nilai putarannya karena engkol harus memberikan energi lebih untuk dapat memutar *flywheel*.

Nilai efisiensi mesin *stirling* ini masih kecil jika dibandingkan dengan mesin *stirling* menggunakan reflektor. Meskipun demikian tetap memiliki sisi keunggulan yang terletak sisi ekonomisnya. Selain itu mesin ini juga mudah dibuat dan desainnya sangat sederhana.

Penelitian yang dilakukan belum dapat menghasilkan keluaran energi listrik, tetapi penelitian ini dapat menunjukkan bahwa energi panas matahari sangat besar dan tentunya sumber energi tersebut dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan ekonomis.