

## Lampiran II Perhitungan

### Kondisi Operasi

$$\begin{aligned} \text{Temperatur Cold Side } (T_C) &= 45 \text{ C} = 318 \text{ K} \\ \text{Temperatur Hot Side } (T_H) &= 170 \text{ C} = 443 \text{ K} \end{aligned}$$

### Perhitungan Data Desain Mesin Stirling

1. Menghitung panas masuk yang diperlukan untuk proses 1-2 pemanasan isokhorik

$$Q_{heat} = m C_v (T_{Hot} - T_{Cold}) \quad (\text{Martini, 1983})$$

$$Q_{heat} = m (C_{v_{T_{hot}}} (T_{Hot})) - (C_{v_{T_{cold}}} (T_{Cold})) \quad (\text{Martini, 1983})$$

dimana,

$Q_{heat}$ , adalah jumlah panas yang dibutuhkan udara untuk proses 1-2

$m$ , adalah jumlah massa fluida kerja (kg)

$C_v$ , adalah kalor spesifik pada volume konstan (J/g K)

$T_{hot}$ , adalah temperatur pada piston bagian panas (K)

$T_{cold}$ , adalah temperatur pada piston bagian dingin (K)

Untuk mendapatkan massa fluida kerja digunakan persamaan Gay-Lussac

$$PV = nRT$$

$$m = \frac{P V_m BM}{R T_{ambient}}$$

dimana,

$m$ , adalah jumlah massa fluida kerja (kg)

$P$  adalah tekanan fluida kerja pada kondisi normal (1 bar)

$V_m$ , adalah volume minimum fluida kerja ( $\text{cm}^3$ )

$R$ , adalah konstanta gas universal (83,14 bar  $\text{cm}^3/\text{mol K}$ )

$BM$ , adalah berat molekul fluida kerja (g/mol)

$T_{ambient}$ , adalah temperatur fluida kerja pada keadaan awal (K)

$$m = \frac{P \times V_m \times BM}{R \times T_{ambient}}$$

$$= \frac{1 \text{ bar} \times 75 \text{ cm}^3 \times 28,97 \text{ g/mol}}{83,14 \text{ bar cm}^3/\text{mol K} \times 318 \text{ K}}$$

$$= 0,082 \text{ g}$$

$$n = m / \text{BM}$$

$$= 0,0028366 \text{ mol}$$

$$Cv \text{ udara di } 318 \text{ K} = 0,7182 \text{ J/g K}$$

$$Cv \text{ udara di } 443 \text{ K} = 0,729 \text{ J/g K}$$

$$Q \text{ heat} = m ((Cv_{\text{Thot}} \times T_{\text{hot}}) - (Cv_{\text{Tcold}} \times T_{\text{cold}}))$$

$$= 0,082 \text{ g} ((0,729 \text{ J/gK} \times 443 \text{ K}) - (0,718 \text{ J/g K} \times 318 \text{ K}))$$

$$= 7,771156 \text{ J}$$

2. Menghitung panas masuk yang diperlukan untuk proses 2-3 isothermal ekspansi

$$Q_{exp} = n R T_{Hot} \ln \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (\text{Martini, 1983})$$

dimana,

$Q_{exp}$ , adalah jumlah panas yang dibutuhkan udara untuk proses 1-2

$n$ , adalah jumlah mol fluida kerja (mol)

$R$ , merupakan konstanta gas universal: 8,31 J/mol.K)

$T_{hot}$ , adalah temperatur pada piston bagian panas (K)

$V_m$ , adalah volume minimum fluida kerja ( $\text{cm}^3$ )

$V_M$ , adalah volume maksimum fluida kerja ( $\text{cm}^3$ )

$$Q_{exp} = n R T_{hot} \ln \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

$$= 0,0028366 \text{ mol} \times 8,31 \text{ J/mol.K} \times 443 \text{ K} \times \ln \frac{225 \text{ cm}^3}{75 \text{ cm}^3}$$

$$= 11,477873 \text{ J}$$

3. Menghitung jumlah panas yang dibutuhkan untuk 1 siklus mesin stirling

$$Q \text{ input} = Q \text{ heat} + Q \text{ exp}$$

$$= 7,771156 \text{ J} + 11,4779 \text{ J}$$

$$= 19,24903 \text{ J}$$

4. Menghitung kerja yang dihasilkan mesin stirling dalam 1 siklus

$$W_{net} = W_{exp} + W_{comp} \quad (\text{Urieli, 2013})$$

dimana,

$W_{net}$ , merupakan kerja yang dihasilkan oleh mesin stirling dalam 1 siklus (J)

$W_{exp}$ , merupakan kerja yang dihasilkan oleh mesin stirling untuk melakukan proses 2-3 ekspansi isothermal (J)

$W_{comp}$ , merupakan kerja yang dihasilkan oleh mesin stirling untuk melakukan proses 4-1 kompresi isothermal (J)

$$W_{exp} = Q_{exp} = 11,4779 \text{ J}$$

$$W_{comp} = n R T_{cold} \ln \frac{V_{min}}{V_{max}} \quad (\text{Urieli, 2013})$$

$$= 0,0028366 \text{ mol} \times 8,31 \text{ J/mol.K} \times 318 \text{ K} \times \ln \frac{75 \text{ cm}^3}{225 \text{ cm}^3}$$

$$= -8,239196 \text{ J}$$

$$\begin{aligned} W_{net} &= W_{exp} + W_{comp} \\ &= 11,477873 \text{ J} + \{-8,239196 \text{ J}\} \\ &= 3,239 \text{ J} \end{aligned}$$

dengan menggunakan cara yang sama didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 1. Data desain  $Q_{input} / siklus$  dan  $W_{net} / siklus$  mesin stirling

Temperatur Cold Side	Temperatur Hot Side	$Q_{input}$ (J)	$W_{net}$ (J)
45 °C	170 °C	19,249	3,239
	180 °C	20,107	3,498
	190 °C	20,965	3,757
	200 °C	21,824	4,016
	210 °C	22,682	4,275
40 °C	170 °C	19,856	3,422
	180 °C	20,728	3,685
	190 °C	21,600	3,948
	200 °C	22,472	4,212
	210 °C	23,344	4,475
35 °C	170 °C	20,483	3,611
	180 °C	21,369	3,879
	190 °C	22,255	4,146
	200 °C	23,141	4,414
	210 °C	24,027	4,681

5. Menghitung daya desain menggunakan data jumlah putaran *flywheel*

Dikarenakan 1 siklus mesin stirling sama dengan 1 putaran *flywheel* maka,

$$P = n W_{net}$$

dimana

P, adalah daya yang dihasilkan (Watt)

n, adalah jumlah putaran *flywheel* per detik

$W_{net}$ , merupakan kerja yang dihasilkan oleh mesin stirling dalam 1 siklus (J)

$$\begin{aligned} P &= n \times W_{net} \\ &= 255 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} \times 3,24 \text{ J} \times \frac{1 \text{ Watt}}{1 \text{ J/s}} \\ &= 8,809 \text{ Watt} \end{aligned}$$

dengan menggunakan cara yang sama didapatlah data sebagai berikut

Tabel 2. Data desain daya yang dihasilkan mesin stirling

Temperatur Cold Side	Temperatur Hot Side	Putaran <i>flywheel</i> (RPM)	Daya (Watt)
45 °C	170 °C	255	8,809
	180 °C	263	9,812
	190 °C	265	10,619
	200 °C	265	11,352
	210 °C	266	12,130
40 °C	170 °C	262	9,563
	180 °C	265	10,417
	190 °C	271	11,414
	200 °C	274	12,309
	210 °C	276	13,174
35 °C	170 °C	274	10,555
	180 °C	275	11,378
	190 °C	281	12,428
	200 °C	282	13,277
	210 °C	285	14,231

6. Data aktual yang dihasilkan generator

$$P = V I$$

dimana

P adalah daya yang dihasilkan

V adalah tegangan yang dihasilkan

I adalah arus yang dihasilkan

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 93,17 \text{ volt} \times 0,07 \text{ ampere} \\ &= 6,522 \text{ watt} \end{aligned}$$

dengan menggunakan cara yang sama dihitunglah data hasil pengukuran dan dida| hasil seberti tabel berikut ini

Tabel 3. Daya output generator yang dihasilkan

Temperatur Cold Side	Temperatur Hot Side	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
45 °C	170 °C	93,17	0,07	6,522
	180 °C	100,64	0,07	7,045
	190 °C	107,20	0,07	7,504
	200 °C	107,36	0,07	7,515
	210 °C	110,88	0,07	7,762
40 °C	170 °C	99,20	0,07	6,944
	180 °C	107,20	0,07	7,504
	190 °C	115,36	0,07	8,075
	200 °C	118,40	0,07	8,288
	210 °C	124,96	0,07	8,747
35 °C	170 °C	118,40	0,07	8,288
	180 °C	124,48	0,07	8,714
	190 °C	129,76	0,07	9,083
	200 °C	137,92	0,07	9,654
	210 °C	143,20	0,07	10,024