

LAMPIRAN I
DATA PENELITIAN

Data hasil penelitian yang dilakukan di lapangan terbuka Laboratorium Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

L.1. Data untuk Solar Water Heater (SWH) Jenis Tube Spiral dengan laju alir 5 L/menit

1.1. Tanggal 15 April 2019

Tabel L.1 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Spiral 15 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{pm} °C	V _a m/s	T _a °C
9:00	669	32	36,5	50,0	2	34
9:30	743	32	37,5	57,0	1,6	34
10:00	768	32	38,0	61,0	1,8	34
10:30	812	32	39,0	61,0	1,4	34
11:00	868	32	39,5	60,0	2,1	34
11:30	921	32	40,0	62,0	1,9	34
12:00	944	32	40,5	64,0	1,7	34
12:30	981	32	41,0	67,0	2	34
13:00	852	32	39,0	60,0	1,8	34

1.2. Tanggal 16 April 2019

Tabel L.2 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Spiral 16 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	656	31	35,5	52,0	1,1	33
9:30	696	31	36,0	54,5	1,8	33
10:00	740	31	36,5	57,5	2,1	33
10:30	763	31	37,0	58,5	1,2	33
11:00	794	31	37,0	58,5	1,9	33
11:30	821	31	37,5	60,5	1,7	33
12:00	870	31	38,0	61,0	0,8	33
12:30	891	31	39,0	61,5	1,6	33
13:00	787	31	37,5	57,5	1,9	33

1.3. Tanggal 18 April 2019

Tabel L.3 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Spiral 18 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	732	31	37	57	1,9	33
9:30	754	31	37	57,6	2	33
10:00	779	31	37	58	1,6	33
10:30	853	31	38	59,4	1,8	33
11:00	894	31	39	61	2	33
11:30	933	31	39	62,3	1,8	33
12:00	957	31	40	63,4	1,4	33
12:30	989	31	40	64	1,7	33
13:00	760	31	37	57,9	1,9	33

1.4. Tanggal 20 April 2019

Tabel L.4 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Spiral 20 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
-------	--------------------------	-----------	------------	-----------	-----------	----------

9:00	731	32	37	<u>58,2</u>	1,8	33
9:30	745	32	38	58,6	2	33
10:00	762	32	38	58,7	3	33
10:30	778	32	38	59,8	3,1	33
11:00	815	32	38	59,2	2	33
11:30	829	32	39	59,1	1,7	33
12:00	841	32	39	60,2	1,7	33
12:30	861	32	39	59	1,9	33
13:00	738	32	37	58,9	2,2	33

L.2. Data untuk Solar Water Heater (SWH) Jenis Tube Serpentine dengan laju alir 5 L/menit

1.5. Tanggal 7 Mei 2019

Tabel L.5 Data Pengamatan SWH dengan Tube Serpentine 7 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{pm} °C	V _a m/s	T _a °C
9:00	715	34	39	55	0,7	35
9:30	754	34	39	56	1	35
10:00	802	34	40	59	1,2	35
10:30	834	34	40	60,5	0,9	35
11:00	885	34	41	62,8	1,2	35
11:30	914	34	43	64	1,3	35
12:00	956	34	43	66	0,7	35
12:30	976	34	44	67	1,3	35
13:00	761	34	39	56,5	1,5	35

1.6. Tanggal 8 Mei 2019

Tabel L.6 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Serpentine 8 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{pm} °C	V _a m/s	T _a °C
9:00	720	34	38,5	55,33	1,8	35
9:30	779	34	39	58,04	2	35
10:00	890	34	41	63,12	1,7	35
10:30	903	34	42	63,72	1,4	35
11:00	942	34	42	65,5	1,4	35
11:30	958	34	43	66,23	1,8	35
12:00	1008	34	44	68,52	2,2	35
12:30	982	34	44	67,33	1,5	35
13:00	822	34	40	60,01	2	35

1.7. Tanggal 24 Mei 2019

Tabel L.7 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Serpentine 24 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{pm} °C	V _a m/s	T _a °C
9:00	691	33	37	54	1,5	35
9:30	764	33	38,5	57	1,7	35
10:00	833	33	40	60,5	1,7	35
10:30	852	33	40,5	61,5	0,8	35
11:00	903	33	41,5	63,5	1,3	35
11:30	922	33	41,5	64	1,5	35
12:00	931	33	41,5	64,5	1,8	35
12:30	942	33	42	65	0,7	35
13:00	768	33	38,5	57	2,3	35

1.8. Tanggal 25 Mei 2019

Tabel L.8 Data Pengamatan *SWH* dengan Tube Serpentine 25 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	T _{in} °C	T _{out} °C	T _{pm} °C	V _a m/s	T _a °C
9:00	733	34	39	55,5	1,9	35
9:30	798	34	40	58,5	2,1	35
10:00	867	34	41,5	62,0	1,6	35
10:30	886	34	42	62,5	1,5	35
11:00	915	34	41,5	64,0	1,4	35
11:30	932	34	43	65,0	1,8	35
12:00	947	34	43	65,5	1,9	35
12:30	901	34	42	63,5	2,1	35
13:00	813	34	40,5	59,5	2	35

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

A. Perhitungan Desain

1. Penentuan Energi yang Dibutuhkan

Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air didapatkan berdasarkan laju alir massa air (\dot{m}), temperatur air masuk (T_{in}) temperatur air keluar (T_o) dan kapasitas panas air (C_p) yang didapatkan berdasarkan temperatur rata-rata (T_m) air.

$$\begin{aligned} - \dot{m} &= 0.50 \text{ liter/menit} = 0.0083 \text{ Kg/s} \\ - T_{out} &= 45^\circ\text{C} \\ - T_{in} &= 30^\circ\text{C} \\ - T_m &= \frac{T_o + T_i}{2} = \frac{45^\circ\text{C} + 30^\circ\text{C}}{2} = 37.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel A-9 Hal 662 Heat Transfer Ed.10 JP. Holman, C_p air pada temperatur 37.5°C berada diantara 32.2°C dan 37.8°C . Sehingga C_p air rata-rata didapatkan dengan cara interpolasi **4.174 kJ/Kg°C**

Sehingga energi yang dibutuhkan/ energi berguna (Q_u) adalah :

$$\begin{aligned} Q_u &= \dot{m} C_p \Delta T \\ &= 0.0083 \text{ Kg/s} \times 4.174 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \times (45^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \\ &= 0.522 \text{ kJ/s} = 0.522 \text{ kW} = \mathbf{522 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

2. Penentuan Luas Kolektor Sementara

Luas kolektor sementara (A_{CS}) didapatkan dari Perbandingan antara energi berguna (Q_u) dengan Intensitas cahaya matahari (I), transimitas kaca (τ) dan absortansi absorber (α) dimana :

$$I = 1000 \text{ W/m}^2 = 1.00 \text{ kW/m}^2$$

Sehingga Luas Kolektor Sementara adalah

$$A_{CS} = \frac{Q_u}{I} = \frac{0.52 \text{ kW}}{1.00 \text{ kW/m}^2} = \mathbf{0.52 \text{ m}^2}$$

3. Overall Heatloss Coefficient (U_L)

Overall Heatloss Coefficient didapatkan dari penjumlahan antara bottom heat loss coefficient (U_b), edge heat loss coefficient (U_e) dan top heat loss coefficient (U_t).

- Bottom heat loss coefficient

Bottom heat loss coefficient ditentukan oleh jenis dan ketebalan isolasi yaitu glass wool. Bottom heat loss didapatkan dengan rumus :

$$U_b = \frac{k_{is}}{x_{is}} = \frac{0.038 \text{ W/mK}}{0.05 \text{ m}} = 0.76 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \dots(\text{Duffie eq.6.4.10 Hal. 252})$$

dimana,

U_b = bottom heatloss coefficient ($\text{W/m}^2\text{K}$)

k_{is} = konduktivitas isolasi (W/mK)

x_{is} = ketebalan isolasi (m)

- Edge heat loss coefficient

Edge heat loss coefficient ditentukan oleh jenis, ketebalan dan luas dari rangka berupa kayu. Edge heat loss didapatkan dengan rumus :

$$U_e = \frac{(UA)_e}{A_{cs}} = \frac{k_w/x_w \times 2(p_{cs}+l_{cs}) \times A_{cs}}{A_{cs}} \quad \dots(\text{Duffie eq.6.4.11 Hal. 252})$$

dimana,

k_w = Konduktivitas kayu = 0.14 W/mK

x_w = Tebal kayu = 0.05 m

p_{cs} = Panjang kolektor sementara = 1.00 m

l_{cs} = Lebar kolektor sementara = 0.52 m

sehingga,

$$U_e = \frac{0.140 \text{ W/mK} \times 2(1 + 0.52)\text{m} \times 0.05 \text{ m}}{0.05 \text{ m} \times 0.52 \text{ m}^2} = 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Top heat loss coefficient

Top heat loss coefficient didapatkan dari persamaan yang dikembangkan oleh Klein (1979) sebagai berikut :

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} \quad \dots(\text{Duffie eq.6.4.9 Hal. 251})$$

$$\frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{\varepsilon_p + 0,00591N h_w + \frac{2N + f - 1 + 0,113\varepsilon_p}{\varepsilon_g}} = N$$

dimana,

N = Jumlah kaca penutup = 1

v = Kecepatan Angin = 2 m/s ... (BMKG 2019)

h_w = Koefisien perpindahan panas antara kaca dan lingkungan
 $= 5,7 + 3,8 v = 5,7 + 3,8 \cdot 2 = 13,3 \text{ W/m}^2\text{K}$... (Solar Eng. Of Thermal

T_a = Temp. Ambient = 30°C = 303K Proses eq. 3.15.2 Hal.163)

T_{pm} = Temp. Plat rata-rata

$$= q/A \text{ asun} = \alpha \text{low temp } \sigma(T^4 - T_a^4) + h_w(T - T_a) \dots (\text{JP. Holman, hal 454})$$

$$= 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,96 = 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 (T^4 - 303\text{K}) + 13,3 \text{ W/m}^2\text{K} (T - 303\text{K})$$

$$= 81^\circ\text{C} = 354\text{K}$$

f = Konstanta

$$= (1 + 0,089h_w - 0,1166h_w\varepsilon_p) + (1 + 0,07866N) = 0,75$$

β = Kemiringan kolektor = 30°

$$C = \text{Konstanta} = 520 (1 - 0,000051\beta^2) = 496$$

$$e = \text{Konstanta} = 0,430 (1 - 100/T_{pm}) = 0,308$$

$$\sigma = \text{Konstanta boltzman} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\varepsilon_g = \text{Emisivitas kaca} = 0,95$$

$$\varepsilon_p = \text{Emisivitas plat} = 0,96$$

sehingga,

$$U_t = \left\{ \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,00591N h_w} + \frac{1}{13,3}} \right\} + \left\{ \frac{496}{25,4} \left(\frac{(354 - 303)}{1 + 0,75} \right) \right\}$$

$$\frac{5,67 \times 10^{-8} (354 + 303) (354^2 - 303^2)}{1} + \frac{2(1) + 0,75 - 1 + 0,113(1)}{0,95}$$

- 1

$$0,96 + 0,00591(1) (13,3) \quad 0,95$$

$$= 2,53 + 4,21 = \mathbf{6,75 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

- Overall heatloss coefficient

$$\begin{aligned} U_L &= U_t + U_e + U_b \\ &= 6.75 \text{ W/m}^2\text{K} + 0.76 \text{ W/m}^2\text{K} + 0.82 \text{ W/m}^2\text{K} \\ &= \mathbf{8.32 \text{ W/m}^2\text{K}} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Heatloss

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= U_L A_{cs} (T_{\text{pm}} - T_a) \quad \dots(\text{Fabio Struckman}) \\ &= 8.32 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.52 \text{ m}^2 \times (354 \text{ K} - 303 \text{ K}) \\ &= 219.39 \text{ W} = \mathbf{0.2194 \text{ kW}} \end{aligned}$$

5. Energi Total yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_u + Q_{\text{loss}} \\ &= 0.522 \text{ kW} + 0.219 \text{ kW} \\ &= \mathbf{0.741 \text{ kW}} \end{aligned}$$

6. Luas kolektor yang dibutuhkan

$$A_c = \frac{Q_{\text{total}}}{I} = \frac{0.74 \text{ kW}}{1.00 \text{ kW/m}^2} = \mathbf{0.74 \text{ m}^2}$$

7. Menghitung Panjang Pipa

$$A = \frac{Q_u}{I} = \frac{0.52 \text{ kW}}{1.00 \text{ kW/m}^2} = 0.57 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{\pi d} = \frac{0.57 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0.013 \text{ m}} = \mathbf{14.191 \text{ m}}$$

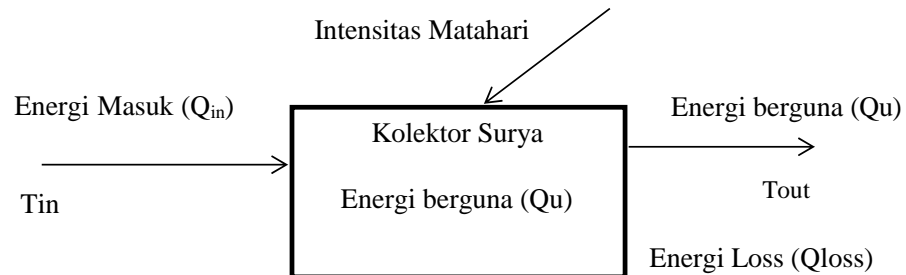
8. Efisiensi Desain (η)

Efisiensi Desain (η) didapatkan dari perbandingan energi berguna (Q_u) dengan energi masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned} Q_{\text{in}} &= I A_c \\ &= 1.00 \text{ kW/m}^2 \times 0.74 \text{ m}^2 \\ &= \mathbf{0.74 \text{ kW}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= Q_u/Q_{in} \\ &= 0.52 \text{ kW} \\ &= \frac{0.52 \text{ kW}}{0.74 \text{ kW}} = \mathbf{70.4\%}\end{aligned}$$

B. Perhitungan Aktual Alat Solar Water Heater dengan Tube Spiral



1. Energi masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned}Q_{in} &= I \times A \\ &= 0.71 \text{ kW/m}^2 \times 0.77 \text{ m}^2 \\ &= 0.550 \text{ kW} = \mathbf{550 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

2. Energi berguna (Q_u)

$$\begin{aligned}Q_u &= \dot{m} C_p \Delta T \\ &= 0.0083 \text{ Kg/s} \times 4.174 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \times (38^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C}) \\ &= 0.157 \text{ kJ/s} = 0.157 \text{ kW} = \mathbf{157 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

3. Energi loss (Q_{loss})

$$\begin{aligned}Q_{loss} &= Q_{in} - Q_u \\ &= 550 \text{ W} - 157 \text{ W} \\ &= \mathbf{394 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

4. Overall Heatloss coefficient

$$\begin{aligned}U_L &= \frac{Q_{loss}}{A (T_{pm} - T_a)} \\ &= \frac{394 \text{ Watt}}{0.77 \text{ m}^2 (55^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C})} \\ &= \mathbf{23.29 \text{ W/m}^2\text{K}}\end{aligned}$$

5 Efisiensi Kolektor

$$\begin{aligned}\eta &= Q_u/Q_{in} \\ &= 157 \text{ W} / 550 \text{ W} \\ &= \mathbf{28.44\%}\end{aligned}$$

C. Perhitungan Aktual Alat Solar Water Heater dengan Tube Serpentine

1. Energi masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned}Q_{in} &= I \times A \\ &= 0.70 \text{ kW/m}^2 \times 0.77 \text{ m}^2 \\ &= 0.537 \text{ kW} = \mathbf{537 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

2. Energi berguna (Q_u)

$$\begin{aligned}Q_u &= \dot{m} C_p \Delta T \\ &= 0.0083 \text{ Kg/s} \times 4.174 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \times (36^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}) \\ &= 0.170 \text{ kJ/s} = 0.170 \text{ kW} = \mathbf{170 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

3. Energi loss (Q_{loss})

$$\begin{aligned}Q_{loss} &= Q_{in} - Q_u \\ &= 537 \text{ W} - 170 \text{ W} \\ &= \mathbf{367 \text{ Watt}}\end{aligned}$$

4. Overall Heatloss coefficient

$$\begin{aligned}U_L &= \frac{Q_{loss}}{A (T_{pm} - T_a)} \\ &= \frac{367 \text{ Watt}}{0.77 \text{ m}^2 (54^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C})} \\ &= \mathbf{22.12 \text{ W/m}^2\text{K}}\end{aligned}$$

5. Efisiensi Kolektor

$$\begin{aligned}\eta &= Q_u/Q_{in} \\ &= 170 \text{ W} / 537 \text{ W} \\ &= \mathbf{31.60\%}\end{aligned}$$

LAMPIRAN III
DOKUMENTASI PENELITIAN



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar III. Komponen Pada Alat *Solar Water Heater* (a) Pompa Umpan, Pompa Dosing dan Seperangkat *Reverse Osmosis*, (b) *Solar Power Meter* (SPM), (c) *Termometer Digital*, (d) *Spiral Tube*, (e) *Serpentine Tube*, (f) *Termogun*, (g) Alat Secara Keseluruhan dengan *Tube Serpentine*, (h) Alat Secara Keseluruhan dengan *Tube Spiral*