

LAMPIRAN I
DATA PENELITIAN

Data hasil penelitian yang dilakukan di lapangan terbuka Laboratorium Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya dapat dilihat pada tabel L.1 samapai L.10 berikut :

Tabel L.1 Data Pengamatan SWH Tanggal 15 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	669	32	36,5	50,0	2,0	33
9:30	743	32	37,5	57,0	1,6	33
10:00	768	32	38,0	61,0	1,8	33
10:30	812	32	39,0	61,0	1,4	33
11:00	868	32	39,5	60,0	2,1	33
11:30	921	32	40,0	62,0	1,9	33
12:00	944	32	40,5	64,0	1,7	33
12:30	981	32	41,0	67,0	2,0	33
13:00	852	32	39,0	60,0	1,8	33

Tabel L.2 Data Pengamatan SWH Tanggal 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	32
9:30	696	31	36,0	54,5	1,8	32
10:00	740	31	36,5	57,5	2,1	32
10:30	763	31	37,0	58,5	1,2	32
11:00	794	31	37,0	58,5	1,9	32
11:30	821	31	37,5	60,5	1,7	32
12:00	870	31	38,0	61,0	0,8	32
12:30	891	31	39,0	61,5	1,6	32
13:00	787	31	37,5	57,5	1,9	32

Tabel L.3 Data Pengamatan SWH Tanggal 18 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	732	31	37	57,0	1,9	33
9:30	754	31	37	57,6	2,0	33
10:00	779	31	37	58,0	1,6	33
10:30	853	31	38	59,4	1,8	33
11:00	894	31	39	61,0	2,0	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	64,0	1,7	33
13:00	760	31	37	57,9	1,9	33

Tabel L.4 Data Pengamatan SWH Tanggal 20 April 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	731	32	37	58,2	1,8	33
9:30	745	32	38	58,6	2,0	33
10:00	762	32	38	58,7	3,0	33
10:30	778	32	38	59,8	3,1	33
11:00	815	32	38	59,2	2,0	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	59,0	1,9	33
13:00	738	32	37	58,9	2,2	33

Tabel L.5 Data Pengamatan SWH Tanggal 1 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	723	30	36	58,2	1,8	33
9:30	741	30	37	58,6	1,7	33
10:00	798	30	37	58,7	1,9	33
10:30	846	30	37	59,8	1,4	33
11:00	837	30	38	59,2	2,0	33
11:30	859	30	38	59,1	2,0	33
12:00	927	30	39	60,2	1,4	33
12:30	978	30	39	62,0	1,5	33
13:00	790	30	37	59,0	2,0	33

Tabel L.6 Data Pengamatan SWH Tanggal 7 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	715	34	39	55,0	0,7	35,0
9:30	754	34	39	56,0	1,0	35,0
10:00	802	34	40	59,0	1,2	35,0
10:30	834	34	40	60,5	0,9	35,0
11:00	885	33	41	62,8	1,2	35,0
11:30	914	34	43	64,0	1,3	35,0
12:00	956	34	43	66,0	0,7	35,0
12:30	976	34	44	67,0	1,3	35,0
13:00	761	34	39	56,5	1,5	35,0

Tabel L.7 Data Pengamatan SWH Tanggal 8 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	720	34	38,5	55,3	1,8	35
9:30	779	34	39	58,0	2,0	35
10:00	890	34	41	63,1	1,7	35
10:30	903	34	42	63,7	1,4	35
11:00	942	33	42	65,5	1,4	35
11:30	958	34	43	66,2	1,8	35
12:00	1008	34	44	68,5	2,2	35
12:30	982	34	44	67,3	1,5	35
13:00	822	34	40	60,0	2,0	35

Tabel L.8 Data Pengamatan SWH Tanggal 24 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	691	33	37	54,0	1,5	35
9:30	764	33	38,5	57,0	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	64,0	1,5	35
12:00	931	33	41,5	64,5	1,8	35
12:30	942	33	42	65,0	0,7	35
13:00	768	33	38,5	57,0	2,3	35

Tabel L.9 Data Pengamatan SWH Tanggal 25 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	733	34	39	55,5	1,9	35,0
9:30	798	34	40	58,5	2,1	35,0
10:00	867	34	41,5	62,0	1,6	35,0
10:30	886	34	42	62,5	1,5	35,0
11:00	915	34	41,5	64,0	1,4	35,0
11:30	932	34	43	65,0	1,8	35,0
12:00	947	34	43	65,5	1,9	35,0
12:30	901	34	42	63,5	2,1	35,0
13:00	813	34	40,5	59,5	2,0	35,0

Tabel L.10 Data Pengamatan SWH Tanggal 27 Mei 2019

Waktu	I (W/m ²)	Tin °C	Tout °C	Tpm °C	Va m/s	Ta °C
9:00	652	31	35	52,0	1,1	33
9:30	731	31	37	55,5	0,7	33
10:00	802	31	37	59,0	1,4	33
10:30	877	31	39	62,5	1,5	33
11:00	923	31	41	64,6	1,1	33
11:30	955	31	41	66,1	1,3	33
12:00	954	31	41	66,0	0,9	33
12:30	982	31	41	67,3	1,5	33
13:00	822	31	39	60,0	1,9	33

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 $37,5^\circ\text{C}$ berada diantara $32,2^\circ\text{C}$ dan $37,8^\circ\text{C}$. Sehingga C_p air rata-rata didapatkan dengan cara interpolasi = **4,174 kJ/Kg $^\circ\text{C}$**

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 absorptansi absorber (α) dimana :

$$I = 1000 \text{ W/m}^2 = 1,00 \text{ kW/m}^2 \quad \dots(\text{Jim Dunlop Solar, 2012})$$

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 heatloss coefficient (U_e) dan top heat loss coefficient (U_t) pada kolektor.

- Bottom heat loss coefficient

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

$$U_b = \frac{k_{is}}{x_{is}} \quad \dots(\text{Duffie eq.6.4.10 Hal. 252})$$
$$= \frac{0,038 \text{ W/mK}}{0,05 \text{ m}} = 0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$$

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 :

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

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,

$$U_e = \frac{0,140 \text{ W/mK} \times 2(1 + 0,52)\text{m} \times 0,05 \text{ m}}{0,52 \text{ m}^2} = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Top heat loss coefficient

Top heat loss coefficient didapatkan dari total koefisien heat transfer konveksi

radiasi plat ke cover dan koefisien heat transfer konveksi dan radiasi dari kaca ke udara. Persamaan yang dikembangkan oleh Klein (1979) sebagai berikut :

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

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

dimana,

$$N = \text{Jumlah kaca penutup} = 1$$

$$v = \text{Kecepatan Angin} = 2 \text{ m/s} \quad \dots \text{(BMKG 2019)}$$

$$h_w = \text{Koefisien perpindahan panas antara kaca dan lingkungan}$$

$$= 5,7 + 3,8 v \quad \dots \text{(Duffie eq. 3.15.2 Hal.163)}$$

$$= 5,7 + 3,8 \cdot 2 = 13,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T_a = \text{Temp. Ambient} = 30^\circ\text{C} = 303\text{K}$$

$$T_{pm} = \text{Temp. Plat rata-rata}$$

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

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

$$13,3 \text{ W/m}^2\text{K} (T - 303\text{K})$$

$$= 80,52^\circ\text{C} = 354\text{K}$$

$$f = \text{Konstanta}$$

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

$$\beta = \text{Kemiringan kolektor} = 30^\circ$$

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

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

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

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

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

sehingga,

$$U_t = \left\{ \frac{1}{0,308} + \frac{1}{13,3} \right\} + \left\{ \frac{496}{354} \left[\frac{(354 - 303)}{(1 + 0,75)} \right] \right\}$$

$$\frac{5,67 \times 10^{-8} (354 + 303) (354^2 - 303^2)}{0,96 + 0,00591(1) (13,3)} + \frac{2(1) + 0,75 - 1 + 0,113(1)}{0,95} - 1$$

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

- **Overall heatloss coefficient**

$$U_L = U_t + U_e + U_b$$

$$= 6,75 \text{ W/m}^2\text{K} + 0,76 \text{ W/m}^2\text{K} + 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$= \mathbf{8,32 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

4. Perhitungan Heatloss

$$Q_{\text{loss}} = U_L A_{\text{cs}} (T_{\text{pm}} - T_a) \quad \dots(\text{Fabio Struckman})$$

$$= 8,32 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0,52 \text{ m}^2 \times (354 \text{ K} - 303 \text{ K})$$

$$= 219,39 \text{ W} = 0,2194 \text{ kW}$$

5. Energi Total yang dibutuhkan

$$Q_{\text{total}} = Q_u + Q_{\text{loss}}$$

$$= 0,522 \text{ kW} + 0,219 \text{ kW}$$

$$= 0,741 \text{ kW}$$

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

$$A = \frac{Q_u}{I} = \frac{0,52 \text{ kW}}{1,00 \text{ kW/m}^2} = 0,57 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{\pi d} = \frac{0,57 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,013 \text{ m}} = \mathbf{14,191 \text{ m}}$$

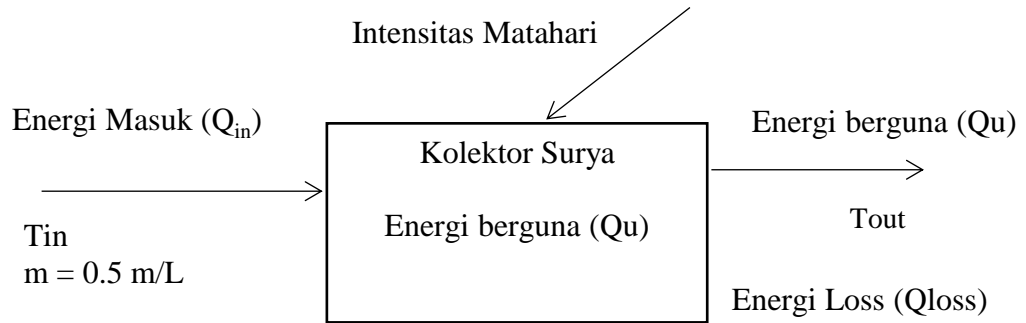
7. Efisiensi Desain (η)

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

$$\begin{aligned} Q_{in} &= I A c \\ &= 1,00 \text{ kW/m}^2 \times 0,74 \text{ m}^2 \\ &= 0,74 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= Q_u / Q_{in} \\ &= \frac{0,52 \text{ kW}}{0,74 \text{ kW}} = \mathbf{70,4\%} \end{aligned}$$

B. Perhitungan Aktual



1. Energi masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned} Q_{in} &= I \times A \\ &= 1,00 \text{ kW/m}^2 \times 0,77 \text{ m}^2 \\ &= 0,710 \text{ kW} = \mathbf{710 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

2. Energi berguna (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= \dot{m} C_p \Delta T \\ &= 0,0083 \text{ Kg/s} \times 4,174 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C} \times (42^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C}) \\ &= 0,383 \text{ kJ/s} = 0,383 \text{ kW} = \mathbf{383 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

3. Energi loss (Q_{loss})

$$\begin{aligned} Q_{loss} &= Q_{in} - Q_u \\ &= 710 \text{ W} - 383 \text{ W} \\ &= \mathbf{328 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

4. Overall Heatloss coefficient

$$\begin{aligned} U_L &= \frac{Q_{loss}}{A (T_{pm} - T_a)} \\ &= \frac{328 \text{ Watt}}{0,77 \text{ m}^2 (63^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C})} \\ &= \mathbf{14,18 \text{ W/m}^2\text{K}} \end{aligned}$$

6. Efisiensi Kolektor

$$\begin{aligned} \eta &= Q_u / Q_{in} \\ &= 313 \text{ W} / 617 \text{ W} \\ &= \mathbf{49,64\%} \end{aligned}$$

LAMPIRAN III
DOKUMENTASI PENELITIAN



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

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) Alat Secara Keseluruhan dengan tube Spiral, (g) Alat Secara Keseluruhan dengan tube Serpentine,