

LAMPIRAN I
DATA PENELITIAN

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

Tabel L1.1 Data Pengamatan *Solar Water Heater* (SWH) dengan Kemiringan Sudut Panel 5° Pada 07 Juni 2022

No.	Intensitas Cahaya	Temperatur Air		Temperatur Tube	Temperatur Panel	Laju Alir (L/Min)
	(Lux)	Input (°C)	Output (°C)	(°C)	(°C)	
1.	89000	30,0	55,0	67,7	70,5	
2.	90000	30,0	58,0	66,0	69,0	
3.	91000	30,5	58,5	66,5	70,0	1,7
4.	92000	30,0	59,0	66,0	69,0	
5.	93000	30,0	60,0	67,5	69,6	

Tabel L1.2 Data Pengamatan *Solar Water Heater* (SWH) dengan Kemiringan Sudut Panel 10° Pada 09 Juni 2022

No.	Intensitas Cahaya	Temperatur Air		Temperatur Tube	Temperatur Panel	Laju Alir (L/Min)
	(Lux)	Input (°C)	Output (°C)	(°C)	(°C)	
1.	89000	30,0	57,0	67,6	69,7	
2.	90000	30,0	60,0	67,0	70,0	
3.	91000	30,0	60,0	65,0	70,4	1,7
4.	92000	30,5	61,5	66,8	70,0	
5.	93000	30,0	61,5	66,5	70,0	

Tabel L1.3 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)* dengan Kemiringan Sudut Panel 15⁰ Pada 14 Juni 2022

No.	Intensitas	Temperatur Air		Temperatur	Temperatur	LajuAlir
	Cahaya	Input	Output	Tube	Panel	
	(Lux)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(L/Min)
1.	89000	30,5	58,5	67,2	69,8	
2.	90000	30,0	61,5	66,9	69,7	
3.	91000	30,0	61,5	66,4	70,0	1,7
4.	92000	30,5	62,0	66,8	70,3	
5.	93000	30,5	62,0	66,5	70,3	

Tabel L1.4 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)* dengan Kemiringan Sudut Panel 20⁰ Pada 16 Juni 2022

No.	Intensitas	Temperatur Air		Temperatur	Temperatur	LajuAlir
	Cahaya	Input	Output	Tube	Panel	
	(Lux)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(L/Min)
1.	89000	29,5	59,0	66,8	70,2	
2.	90000	29,5	62,0	66,8	69,7	
3.	91000	30,0	62,5	66,7	69,8	1,7
4.	92000	30,0	63,0	67,1	69,9	
5.	93000	29,5	63,5	67,0	70,1	

Tabel L1.5 Data Pengamatan *Solar Water Heater* (SWH) dengan Kemiringan Sudut Panel 25⁰ Pada 18 Juni 2022

No.	Intensitas	Temperatur Air		Temperatur	Temperatur	LajuAlir
	Cahaya	Input	Output	Tube	Panel	
	(Lux)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(⁰ C)	(L/Min)
1.	89000	30,0	59,5	66,8	70,4	
2.	90000	30,0	62,0	66,7	70,4	
3.	91000	30,5	63,0	67,0	69,8	1,7
4.	92000	30,0	63,5	67,4	69,8	
5.	93000	30,0	64,0	66,0	70,0	

LAMPIRAN II

PERHITUNGAN

A. PERHITUNGAN DESAIN

Menghitung Panjang Pipa Kolektor Minimum

Pipa aluminium yang mengalir dalam kolektor didesain agar mampu memanaskan air dari suhu 30°C - 55°C. Oleh sebab itu, diperlukan nilai kalor guna memanaskan air dengan kebutuhan tersebut. Berikut ini merupakan prosedur penyelesaian guna mencari panjang minimum pipa aluminium :

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

$$\begin{aligned} - \dot{m} &= 1,7 \frac{L}{menit} \times 1 \frac{kg}{L} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 s} = 0,02833 \text{ kg/s} \\ - T_{out} &= 55 \text{ }^\circ\text{C} \\ - T_{in} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ - T_m &= \frac{T_{out} + T_{in}}{2} = \frac{55 + 30}{2} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel A-9 Hal 662 Heat Transfer Ed.10 JP. Holman, C_p air pada temperatur 42,5°C berada diantara 37,78°C dan 43,33°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 :

$$\begin{aligned} Q_u &= \dot{m} c_p \Delta T \\ &= 0,02833 \text{ kg/s} \times 4,174 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \times (55-30)^\circ\text{C} \\ &= 2,95 \text{ kJ/s} \left(\frac{1000W}{kJ/s} \right) \\ &= 2950 \text{ W} \end{aligned}$$

Untuk memperoleh perolehan panas rata-rata selama 8jam maka:

$$\begin{aligned} Q &= 2950 \text{ W/8} \\ Q &= 368,75 \end{aligned}$$

Jika, laju aliran air diatur sebesar 1,7 liter/menit. Maka:

- Kecepatan Air

$$V_{\text{air}} = \frac{Q_{\text{air}}}{A}$$

$$V_{\text{air}} = \frac{0,0017 \frac{m^3}{\text{menit}}}{\frac{1}{4} \pi \cdot (0,0127 \text{ m})^2}$$

$$V_{\text{air}} = \frac{0,0017 \frac{m^3}{\text{menit}} \left(\frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} \right)}{0,0001266127 m^2}$$

$$V_{\text{air}} = 0,223 \text{ m/s}$$

Nilai properties air diperoleh pada suhu rata-rata air pada saat penelitian yaitu:

$$(55+30)/2 = 42,5^\circ\text{C}$$

Maka, properties air pada 42,5°C : (berdasarkan buku J.P. Holman)

- Viskositas (μ)

$$\mu = 0,000682 + (42,5 - 37,78) \left(\frac{0,000616 - 0,000682}{43,33 - 37,78} \right)$$

$$\mu = 0,00062587 \text{ kg/ms}$$

- Prandtl Number (Pr)

$$\text{Pr} = 4,53 + (42,5 - 37,78) \left(\frac{4,04 - 4,53}{43,33 - 37,78} \right)$$

$$\text{Pr} = 4,11$$

- Konduktivitas Termal (k)

$$k = 0,63 + (42,5 - 37,78) \left(\frac{0,637 - 0,63}{43,33 - 37,78} \right)$$

$$k = 0,636 \text{ W/m.K}$$

- Densitas (ρ)

$$\rho = 993,0 + (42,5 - 37,78) \left(\frac{990,6 - 993,0}{43,33 - 37,78} \right)$$

$$\rho = 990,96 \text{ kg/m}^3$$

- Bilangan Reynold (Re)

$$\text{Re} = \frac{v \cdot di \cdot \rho}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0,223 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,012 \text{ m} \times 990,96 \text{ kg/m}^3}{0,00062587 \text{ kg/ms}}$$

$$\text{Re} = 4.237$$

- Bilangan Nusselt (Nu)

Karena $2300 < \text{Re} = \rho V D h / \mu < 5 \times 10^6$ dan $0.5 < \text{Pr} < 2000$), maka :

$$\text{Nu} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(\text{Re}-1000)\text{Pr}}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} \left(\text{Pr}^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$\begin{aligned} f &= \{0,790 \cdot \ln \text{Re} - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(0,790 \cdot \ln (4.237)) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(0,790 \cdot 8,35) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(6,9) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{4,95\}^{-2} \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

$$\text{Nu} = \frac{\left(\frac{0,04}{8}\right)(4.237-1000)(4,11)}{1 + (12,7 \left(\frac{0,04}{8}\right)^{0,5} \left(4,11^{\frac{2}{3}} - 1\right))}$$

$$\text{Nu} = \frac{66,52}{1 + (0,898)(1,563)}$$

$$Nu = 27,67$$

- Koefisien Konveksi (h)

$$h = \frac{Nu \cdot k}{di}$$

$$h = \frac{27,67 \cdot 0,636 \text{ W/m.K}}{0,012}$$

$$h = 1.466,55 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

Untuk memperoleh panjang pipa minimum yang digunakan untuk memanaskan air, diperlukan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa. Selanjutnya dengan metode ΔT_{lm} di cari nilai dari panjang pipa aluminium. Berikut

adalah prosedur penyelesaiannya:

$$U_o = \frac{1}{R_i \cdot \frac{A_o}{A_i} + A_o R_s}$$

$$R_s = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k}$$

$$R_s = \frac{\ln\left(\frac{0,0127}{0,012}\right)}{2 \times 3,14 \times 237}$$

$$R_s = 3,8 \cdot 10^{-5}$$

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i}$$

$$R_i = \frac{1}{1.466,55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{.K}} (3,14 \times 0,012)}$$

$$R_i = 0,018$$

Maka,

$$U_o = \frac{1}{0,018 \cdot \frac{0,0127}{0,012} + (3,14 \times 0,018) 3,8 \cdot 10^{-5}}$$

$$U_o = \frac{1}{0,0127}$$

$$U_o = 52,21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Maka panjang pipa minimum didapatkan melalui persamaan berikut:

$$q = U \times A \times \Delta T_{lm}$$

$$q = \frac{52,21}{x} \times A \times \Delta T_{lm}$$

Jika suhu rata-rata pipa pada air keluar dianggap turun sebesar 5° , dan peningkatan suhu rata-rata air setelah melalui pipa sebesar $0,2^{\circ}$ maka didapatkan nilai ΔT_{lm} dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(Th2 - Tc2) - (Th1 - Tc2)}{\ln\{(Th2 - Tc2)/(Th1 - Tc2)\}}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(51,1 - 39) - (44 - 39,2)}{\ln\{(51,1 - 39)/(44 - 39,2)\}}$$

$$\Delta T_{lm} = 7,89$$

$$q = U \times A \times \Delta T_{lm}$$

$$368,75 = 52,21 \times (3,14 \times 0,0127 \times L) \times 7,89$$

$$L = \frac{368,75}{52,21 \times 0,0127 \times 3,14 \times 7,89}$$

$$L = 22,51 \text{ meter}$$

Karena tidak semua permukaan pipa terkena sinar matahari langsung, maka dianggap permukaan pipa tidak memiliki suhu yang merata, maka perlu diperhatikan faktor efisiensi kolektor. Jika dianggap faktor efisiensi kolektor 70%. Maka:

$$L = \frac{22,51 \text{ m}}{0,70}$$

$$L = 32,15 \text{ meter}$$

Maka, panjang pipa kolektor minimum yang digunakan adalah 32,15 meter

Memperoleh nilai luas minimum kolektor

Dengan menggunakan nilai kalor yang diperlukan untuk memanaskan air, dapat diperoleh nilai luas minimum dari kolektor. Dengan memasukkan nilai efisiensi rata-rata pemanas air tenaga surya yaitu 50%, maka nilai kalor yang digunakan untuk memanaskan air 130 liter hingga 55°C yaitu:

$$\begin{aligned} Q &= 13.650.000 \text{ J} / 0,5 \\ &= 27,3 \text{ MJ.} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui nilai rata-rata radiasi yang diperoleh di kota Palembang selama satu hari yaitu sebesar 12 MJ/m², maka luas penampang kolektor dapat diketahui.

$$Q_{\text{kolektor}} = Q_{\text{in}} \times A$$

$$27,3 \text{ MJ} = 12 \text{ MJ/m}^2 \times A$$

$$A = \frac{27,3 \text{ MJ}}{12 \text{ MJ/m}^2}$$

$$A = 2,275 \text{ m}^2$$

Nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan untuk desain kolektor yaitu:

- a. Luas minimum (A) = 2,275 m², maka panjang = 1,7 m, dan lebar = 1,3 m
- b. Panjang minimum pipa = 32,15 m.
- c. Jarak antar pipa = 3,5 cm
- d. Jarak *Tube* ke kaca = 4 cm
- e. Jarak kaca ke buntut coca cola = 7,5 cm
- f. Tinggi kolektor = 10 cm

PERHITUNGAN AKTUAL

1. Menghitung temperatur rata-rata

Diketahui :

$$T_{in} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{(30 + 55)^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{rata-rata} = 42,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Hasil Perhitungan Temperatur Rata-rata

No	Temperatur Air Masuk ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Air Keluar ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)
1	30,0	55,0	42,50
2	30,0	58,0	44,00
3	30,5	58,5	44,50
4	30,0	59,0	44,00
5	30,0	60,0	45,00
6	30,0	57,0	43,50
7	30,0	60,0	45,00
8	30,0	60,0	45,00
9	30,5	61,5	46,00
10	30,0	61,5	45,75
11	30,5	58,5	44,50
12	30,0	61,5	45,75
13	30,0	61,5	45,75
14	30,5	62,0	46,25
15	30,5	62,0	46,25
16	29,5	59,0	44,25
17	29,5	62,0	45,75
18	30,0	62,5	46,25
19	30,0	63,0	46,50
20	29,5	63,5	46,50
21	30,0	59,5	44,75
22	30,0	62,0	46,00
23	30,5	63,0	46,75
24	30,0	63,5	46,75
25	30,0	64,0	47,00

Berdasarkan temperatur rata-rata yang telah dihitung, maka nilai densitas air berdasarkan suhu, nilai viskositas kinematis, bilangan prandtl number (Pr), konduktivitas termal air dan specific heat (cp) dapat dicari pada tabel *Property Values of Water in Saturated State* dengan cara interpolasi.

Hasil interpolasi water property

Temperatur Rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Tube ($^{\circ}\text{C}$)	Viskositas Dinamis (m^2/s)	<i>Prandtl Number</i>	Water Termal Konduktiviti ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)
42,50	67,7	0,00062587027	4,11	0,6360
44,00	66,0	0,00060949281	3,96	0,6378
44,50	66,5	0,00060463669	3,96	0,6385
44,00	66,0	0,00060463669	3,96	0,6385
45,00	67,5	0,00059978058	3,92	0,6391
43,50	67,6	0,00061434892	4,03	0,6372
45,00	67,0	0,00059978058	3,92	0,6391
45,00	65,0	0,00059978058	3,92	0,6391
46,00	66,8	0,00059006835	3,85	0,6404
45,75	66,5	0,00059249640	3,87	0,6400
44,50	67,2	0,00060463669	3,96	0,6385
45,75	66,9	0,00059249640	3,87	0,6400
45,75	66,4	0,00059249640	3,87	0,6400
46,25	66,8	0,00058764029	3,83	0,6407
46,25	66,5	0,00058764029	3,83	0,6407
44,25	66,8	0,00060706475	3,97	0,6382
45,75	66,8	0,00059249640	3,87	0,6400
46,25	66,7	0,00058764029	3,83	0,6407
46,50	67,1	0,00058521223	3,81	0,6410
46,50	67,0	0,00058521223	3,81	0,6410
44,75	66,8	0,00060220863	3,94	0,6388
46,00	66,7	0,00059006835	3,85	0,6404
46,75	67,0	0,00058278417	3,79	0,6413
46,75	67,4	0,00058278417	3,79	0,6413
47,00	66,0	0,00058035612	3,78	0,6416

2. Menghitung Laju Alir

$$Q = 1,7 \text{ L} = 1,7 \frac{\text{L}}{\text{menit}} \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} = 0,000028 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Menghitung Luas Penampang Tubing

Diketahui : D tube = 0,0127 m

$$r \text{ tube} = 0,00635 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \times (0,00635 \text{ m})^2$$

$$= 0,000127 \text{ m}^2$$

4. Menghitung Kecepatan Fluida

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000028 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000127 \text{ m}^2} = 0,2238 \text{ m/s}$$

5. Menghitung Bilangan Reynold, Bilangan Nuselt, dan Koefisien Konveksi

Diketahui :

Temperatur rata-rata = 42,50 °C

Kecepatan fluida = 0,2238 m/s

Prandtl Number = 4,11

K = 0,6360 W/m.°C

D = 0,0127 m

- **Bilangan Reynold**

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,0127 \text{ m} \times 0,2238 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 983,9 \text{ kg/m}^3}{0,00000063463 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 4467,7713$$

- **Bilangan Nusselt**

Diketahui :

$$\text{Nilai Reynold} = 4467,7713$$

$$Nu = 0,027 \times Re^{0,805} \times Pr^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 0,027 \times 4467,7713^{0,805} \times 4,11^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 47,5096$$

- **Koefisien Konveksi**

Diketahui :

$$Nu = 47,5096$$

$$h = \frac{Nu \times K}{D}$$

$$h = \frac{47,5096 \times 0,6360 \text{ W/mK}}{0,0127 \text{ m}}$$

$$h = 2379,0440 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Hasil perhitungan nilai reynold, nusselt number, dan koefisien konveksi

No.	Temperatur Rata-rata (°C)	Nilai Reynold	Nilai Nuselt	Koefisien Konveksi
1	42,50	4467,7713	47,5096	2379,0440
2	44,00	4590,3878	47,6180	2391,5618
3	44,50	4628,5479	47,9364	2409,9292
4	44,00	4629,8405	47,9472	2410,4710
5	45,00	4674,4335	48,0984	2420,4575
6	43,50	4547,7423	47,6894	2392,7832
7	45,00	4658,2045	47,9639	2413,6904
8	45,00	4662,1137	47,9963	2415,3209
9	46,00	4738,8497	48,1829	2429,4873
10	45,75	4727,1045	48,1990	2429,1043
11	44,50	4619,4997	47,8610	2406,1361
12	45,75	4714,1535	48,0927	2423,7455
13	45,75	4715,4726	48,1035	2424,2914
14	46,25	4754,4401	48,1975	2431,4144
15	46,25	4762,4200	48,2626	2434,6990
16	44,25	4597,1610	47,7828	2401,0233
17	45,75	4711,5154	48,0710	2422,6535
18	46,25	4751,7802	48,1757	2430,3193
19	46,50	4772,8309	48,2338	2434,4444
20	46,50	4780,8439	48,2990	2437,7340
21	44,75	4632,9339	47,8638	2407,4647
22	46,00	4729,5782	48,1070	2425,6602
23	46,75	4790,0338	48,2595	2436,9349
24	46,75	4792,7160	48,2812	2438,0333
25	47,00	4819,5008	48,3832	2444,3831

LAMPIRAN III

GAMBAR ALAT



Gambar 5.1. Material Taso sebagai Alas Panel



Gambar 5.2. Double Naple



Gambar 5.3. Buntut Kaleng sebagai Plat Absorber



Gambar 5.4. Pemotongan Buntut Kaleng



Gambar 5.5. Pengecatan Buntut Kaleng



Gambar 5.6. Penjemuran Buntut Kaleng Setelah di cat



Gambar 5.7. Pemotongan Tiang Taso



Gambar 5.8. Merangkai Potongan Taso untuk Membentuk Frame Panel



Gambar 5.9. Pemotongan Taso untuk Alas Panel



Gambar 5.10. Pemotongan Material Taso



Gambar 5.11. Pembuatan Frame Panel



Gambar 5.12. Frame Panel



Gambar 5.13. Pembuatan Panel



Gambar 5.14. Pemberian Lem Silicon Pada Lubang Agar Panel Kedap Udara



Gambar 5.15. Pemberian Cat Warna Hitam Pada Panel



Gambar 5.16. Pemasangan Buntut Kaleng Pada Panel



Gambar 5.17. Tangki Penyimpanan Air



Gambar 5.18. *Solar Water Heater* Tampak Atas



Gambar 5.19. *Solar Water Heater* Tampak Samping



Gambar 5.20. *Solar Water Heater*



Gambar 5.21. Penaikkan Kaca Penutup Solar Panel Ke Tempat Percobaan



Gambar 5.22. Serangkaian Alat Water Heater



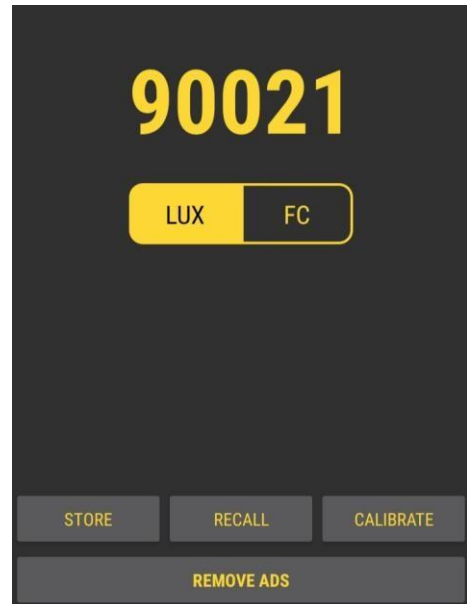
Gambar 5.23. Busur Derajat



Gambar 5.24. Thermometer



Gambar 5.25. *Thermo Gun*



Gambar 5.26. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari



Gambar 5.27. Pengukuran Temperatur Panel Air



Gambar 5.28. Pengukuran Suhu Output