

LAMPIRAN 1 DATA PENGAMATAN

Data hasil penelitian yang dilakukan di 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 5⁰ Pada 02 Juni 2022

No.	Laju Alir (L/menit)	Temperatur Air (°C)		Temperature Tube (°C)	Temperature Panel (°C)
		Input	Output		
1.	1,7	30,0	60,0	67,50	70,5
2.	1,9	30,0	59,0	66,00	69,0
3.	2,1	30,5	58,5	66,50	70,0
4.	2,3	30,0	58,0	66,00	69,0
5.	2,5	30,0	55,0	66,70	69,6

Tabel L1.2 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)*
dengan Kemiringan Sudut Panel 10⁰ Pada 03 Juni 2022

No.	Laju Alir (L/menit)	Temperatur Air (°C)		Temperature Tube (°C)	Temperature Panel(°C)
		Input	Output		
1.	1,7	30,0	61,5	66,50	69,7
2.	1,9	30,5	61,5	66,80	70,0
3.	2,1	30,0	60,0	65,00	70,4
4.	2,3	30,0	60,0	67,00	70,0
5.	2,5	30,0	57,0	67,60	70,0

Tabel L1.3 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)*
dengan Kemiringan Sudut Panel 15⁰ Pada 06 Juni 2022

No.	Laju Alir (L/menit)	Temperatur Air (°C)		Temperature Tube (°C)	Temperature Panel (°C)
		Input	Output		
1.	1,7	30,5	62,0	66,50	69,8
2.	1,9	30,5	62,0	66,80	69,7
3.	2,1	30,0	61,5	66,40	70,0
4.	2,3	30,0	61,5	66,90	70,3
5.	2,5	30,5	58,5	67,20	70,3

Tabel L1.4 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)*
dengan Kemiringan Sudut Panel 20⁰ Pada 08 Juni 2022

No.	Laju Alir (L/menit)	Temperatur Air (°C)		Temperature Tube (°C)	Temperature Panel(°C)
		Input	Output		
1.	1,7	29,5	63,5	67,00	70,2
2.	1,9	30,0	63,0	67,10	69,7
3.	2,1	30,0	62,5	66,70	69,8
4.	2,3	29,5	62,0	66,80	69,9
5.	2,5	29,5	59,0	66,80	70,1

Tabel L1.5 Data Pengamatan *Solar Water Heater (SWH)*
dengan Kemiringan Sudut Panel 25⁰ Pada 10 Juni 2022

No.	Laju Alir (L/menit)	Temperatur Air (°C)		Temperature Tube (°C)	Temperature Panel (°C)
		Input	Output		
1.	1,7	30,0	64,0	66,90	70,4
2.	1,9	30,0	63,5	67,40	70,4
3.	2,1	30,5	63,0	67,00	69,8
4.	2,3	30,0	62,0	66,70	69,8
5.	2,5	30,0	59,5	66,80	70,0

Catatan :

Pengambilan data dilakukan pada saat rata-rata intensitas 93.000 lux.

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

A. PERHITUNGAN DESAIN

Menghitung Panjang Pipa Kolektor Minimum

Pipa *Stainless Steel* 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 *Stainless Steel*:

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.

$$\begin{aligned} - \dot{m} &= 2,5 \frac{L}{menit} \times 1 \frac{kg}{L} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 s} = 0,04167 \text{ kg/s} \\ - T_{out} &= 55 \text{ }^\circ\text{C} \\ - T_{in} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ - T_m &= \frac{T_{out} + T_{in}}{2} = \frac{55 + 30}{2} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned} Q_u &= \dot{m} c_p \Delta T \\ &= 0,04167 \text{ kg/s} \times 4,174 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \times (55-30)^\circ\text{C} \\ &= 4,35 \text{ kJ/s} \left(\frac{1000 \text{ W}}{\text{kJ/s}} \right) \\ &= 4350 \text{ W} \end{aligned}$$

Untuk memperoleh perolehan panas rata-rata per satuan waktu selama satu hari penelitian (8 jam), maka:

$$Q = 4350 \text{ W} / 8$$

$$Q = 543,75 \text{ Watt}$$

Jika, laju aliran air diatur sebesar 2,5 liter/menit. Maka:

- Kecepatan Air

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

$$V_{\text{air}} = \frac{0,0025 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}}{\frac{1}{4} \pi \cdot (0,0127 \text{ m})^2}$$

$$V_{\text{air}} = \frac{0,0025 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \left(\frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} \right)}{0,0001266127 \text{ m}^2}$$

$$V_{\text{air}} = 0,329 \text{ m/s}$$

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

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

Maka, properties air @ 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)

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

$$k = 0,636 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

- 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)

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

$$Re = \frac{0,329 \frac{m}{s} \times 0,012 m \times 990,96 kg/m^3}{0,00062587 kg/ms}$$

$$Re = 6.251$$

- Bilangan Nusselt (Nu)

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

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

Dimana f adalah *friction factor*

$$\begin{aligned} f &= \{0,790 \cdot \ln Re - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(0,790 \cdot \ln (6.251)) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(0,790 \cdot 8,74) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{(6,9) - 1,64\}^{-2} \\ &= \{5,26\}^{-2} \\ &= 0,036 \end{aligned}$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0,036}{8}\right)(6.251-1000)(4,11)}{1 + (12,7 \left(\frac{0,036}{8}\right)^{0,5} \left(4,11^{\frac{2}{3}} - 1\right))}$$

$$Nu = \frac{97,12}{1 + (0,852)(1,566)}$$

$$Nu = 41,6$$

- Koefisien Konveksi (h)

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

$$h = \frac{41,6 \cdot 0,636 W/m.K}{0,012}$$

$$h = 2.204,8 W/m^2.K$$

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 *Stainless Steel*. Berikut

adalah prosedur penyelesaiannya:

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

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

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

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

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

$$R_i = \frac{1}{2.204,8 \frac{W}{m^2 \cdot K} (3,14 \times 0,012)}$$

$$R_i = 0,012$$

Maka,

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

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

$$U_o = 78,74 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Maka panjang pipa minimum didapatkan melalui persamaan berikut:

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

$$q = \frac{78,74}{x} \times A \times \Delta T_{lm}$$

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:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(Th2-Tc2)-(Th1-Tc1)}{\ln\{(Th2-Tc2)/(Th1-Tc1)\}}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(55-42,5)-(50-42,7)}{\ln\{(55-42,5)/(50-42,7)\}}$$

$$\Delta T_{lm} = 9,79$$

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

$$543,75 = 76,92 \times (3,14 \times 0,0127 \times L) \times 9,79$$

$$L = \frac{543,75}{78,74 \times 0,0127 \times 3,14 \times 9,79}$$

$$L = 17,69 \text{ meter}$$

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:

$$L = \frac{17,69 \text{ m}}{0,70}$$

$$L = 25,3 \text{ meter}$$

Maka, panjang pipa kolektor minimum yang digunakan adalah 25,3 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:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 130 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} (55 - 30)$$

$$Q = 13.650.000 \text{ J}$$

$$Q = 13.650.000 \text{ J} / 0,5$$

$$= 27,3 \text{ MJ.}$$

Dengan mengetahui nilai rata-rata radiasi yang diperoleh di kota Palembang selama satu hari yaitu sebesar 12 MJ/m^2 , 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) = $2,275 \text{ m}^2$, maka panjang = $1,7 \text{ m}$, dan lebar = $1,3 \text{ m}$
- b. Panjang minimum pipa = $25,3 \text{ m}$.
- c. Jarak antar pipa = $3,5 \text{ cm}$
- d. Jarak *Tube* ke kaca = 4 cm
- e. Jarak kaca ke buntut coca cola = $7,5 \text{ cm}$
- f. Tinggi kolektor = 10 cm

B. PERHITUNGAN AKTUAL

1. Menghitung temperatur rata-rata

Diketahui :

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

$$T_{\text{out}} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$T_{\text{rata-rata}} = \frac{(30 + 60)^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{\text{rata-rata}} = 45^{\circ}\text{C}$$

Hasil Perhitungan Temperatur Rata-rata

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

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 ($^{\circ}\text{C}$)	Viskositas Dinamik (kg/m.s)	<i>Prandtl Number</i>	Water Termal Konduktivitiy ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	Densitas (kg/m^3)
45,00	0,00059978	3,92	0,639102518	990,06
44,50	0,00060464	3,96	0,638473022	990,22
44,50	0,00060464	3,96	0,638473022	990,22
44,00	0,00060949	3,99	0,637843525	990,38
42,50	0,00062406	4,03	0,635955036	990,87
45,75	0,00059250	3,83	0,640046763	989,82
46,00	0,00059007	3,82	0,640361511	989,74
45,00	0,00059978	3,88	0,639102518	990,06
45,00	0,00059978	3,88	0,639102518	990,06
43,50	0,00061435	3,97	0,637214029	990,54
46,25	0,00058764	3,80	0,640676259	989,65
46,25	0,00058764	3,80	0,640676259	989,65
45,75	0,00059250	3,83	0,640046763	989,82
45,75	0,00059250	3,83	0,640046763	989,82
44,50	0,00060464	3,91	0,638473022	990,22
46,50	0,00058521	3,79	0,640991007	989,57
46,50	0,00058521	3,79	0,640991007	989,57
46,25	0,00058764	3,80	0,640676259	989,65
45,75	0,00059250	3,83	0,640046763	989,82
44,25	0,00060706	3,92	0,638158273	990,30
47,00	0,00058036	3,76	0,641620504	989,41
46,75	0,00058278	3,77	0,641305755	989,49
46,75	0,00058278	3,77	0,641305755	989,49
46,00	0,00059007	3,82	0,640361511	989,74
44,75	0,00060221	3,89	0,63878777	990,14

2. Menghitung Laju Alir

$$Q = 1,7 \frac{L}{menit} \frac{1 m^3}{1000 L} \frac{1 menit}{60 s} = 0,0000283 m^3/s$$

$$Q = 1,9 \frac{L}{menit} \frac{1 m^3}{1000 L} \frac{1 menit}{60 s} = 0,0000317 m^3/s$$

$$Q = 2,1 \frac{L}{menit} \frac{1 m^3}{1000 L} \frac{1 menit}{60 s} = 0,000035 m^3/s$$

$$Q = 2,3 \frac{L}{menit} \frac{1 m^3}{1000 L} \frac{1 menit}{60 s} = 0,0000383 m^3/s$$

$$Q = 2,5 \frac{L}{menit} \frac{1 m^3}{1000 L} \frac{1 menit}{60 s} = 0,0000417 m^3/s$$

3. Menghitung Luas Penampang Tubing

Diketahui :

$$D \text{ tube} = 0,0127 \text{ m}$$

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

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

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

$$= 0,000126613 \text{ m}^2$$

4. Menghitung Kecepatan Fluida

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000283 m^3/s}{0,000126613 m^2} = 0,22378 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000317 m^3/s}{0,000126613 m^2} = 0,25010 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000035 m^3/s}{0,000126613 m^2} = 0,27643 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000383 m^3/s}{0,000126613 m^2} = 0,30276 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000417 m^3/s}{0,000126613 m^2} = 0,32908 \text{ m/s}$$

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

Diketahui :

Temperatur rata-rata	= 45 °C
Kecepatan fluida	= 0,22378 m/s
Prandtl Number	= 3,92
K	= 0,639102518 W/°C
D	= 0,0127 m
ρ	= 990,06 kg/m ³
μ	= 0,00059978 kg/m.s

• Bilangan Reynold

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

$$Re = \frac{0,0127 \text{ m} \times 0,22378 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 990,06 \text{ kg/m}^3}{0,00059978 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}}$$

$$Re = 4641,896999$$

• Bilangan Nusselt

Diketahui :

$$\text{Nilai Reynold} = 4641,896999$$

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

$$Nu = 0,027 \times 4641,896999^{0,805} \times 4,01^{\frac{1}{2}}$$

$$Nu = 48,37554018$$

• Koefisien Konveksi

Diketahui :

$$Nu = 48,37554018$$

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

$$h = \frac{48,37554018 \times 0,633825 \text{ W/mK}}{0,0127 \text{ m}}$$

$$h = 2414,301319 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Hasil perhitungan nilai reynold, nusselt number, dan koefisien konveksi

No.	Temperatur Rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	Nilai Reynold	Nilai Nuselt	Koefisien Konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
1	45,00	4691,3	30,65427932	1542,616307
2	44,50	5202,0	34,21607603	1720,160744
3	44,50	5749,5	37,83452915	1902,072925
4	44,00	6248,0	41,19763641	2069,105956
5	42,50	6636,0	43,83873023	2195,23317
6	45,75	4747,8	30,78527241	1551,497161
7	46,00	5327,8	34,59497345	1744,353501
8	45,00	5795,1	37,85124669	1904,789533
9	45,00	6347,1	41,38102288	2082,418577
10	43,50	6738,7	44,23410019	2219,416472
11	46,25	4786,3	30,9537568	1561,522607
12	46,25	5349,4	34,68456786	1749,730644
13	45,75	5864,9	38,13139455	1921,722491
14	45,75	6423,5	41,67598645	2100,360646
15	44,50	6844,7	44,63663956	2244,038593
16	46,50	4805,7	31,03857835	1566,570834
17	46,50	5371,1	34,77457613	1755,133116
18	46,25	5912,4	38,32031663	1933,143079
19	45,75	6423,5	41,67598645	2100,360646
20	44,25	6817,9	44,53532	2237,841174
21	47,00	4845,1	31,20939635	1576,73926
22	46,75	5393,0	34,8650017	1760,561122
23	46,75	5960,7	38,51099771	1944,671218
24	46,00	6449,4	41,77521754	2106,396962
25	44,75	6871,7	44,73842174	2250,264303

LAMPIRAN 3 GAMBAR ALAT



Gambar 1. Material Taso sebagai Alas Panel



Gambar 3. Alas Kaleng sebagai Plat Absorber



Gambar 2. *Doublenaple*



Gambar 4. Pemotongan Alas kaleng



Gambar 5. Pengecatan Alas Kaleng



Gambar 7. Pemotongan Tiang Taso



Gambar 6. Penjemuran Alas Kaleng Setelah Dicat



Gambar 8. Merangkai Potongan Taso untuk Membentuk Frame Panel



Gambar 9. Pemotongan Alkan



Gambar 11. Pembuatan Frame Panel



Gambar 10. Pemotongan Plat Alkan untuk Alas Panel



Gambar 12. Frame Panel



Gambar 13. Pembuatan Panel



Gambar 15. Pemberian Lem Silikon



Gambar 14. Pemberian Cat Warna Hitam Pada Panel



Gambar 16. Pemasangan Alas Kaleng Pada Panel



Gambar 17. Tangki Penyimpanan Air (Aluminium)



Gambar 19. Solar Water Heater Tampak Samping



Gambar 18. Solar Water Heater Tampak Atas



Gambar 20. Solar Water Heater



Gambar 21. Penaikkan Kaca Penutup Panel Ke Tempat Percobaan



Gambar 23. Busur Derajat



Gambar 22. Serangkaian Alat *Solar Water Heater*



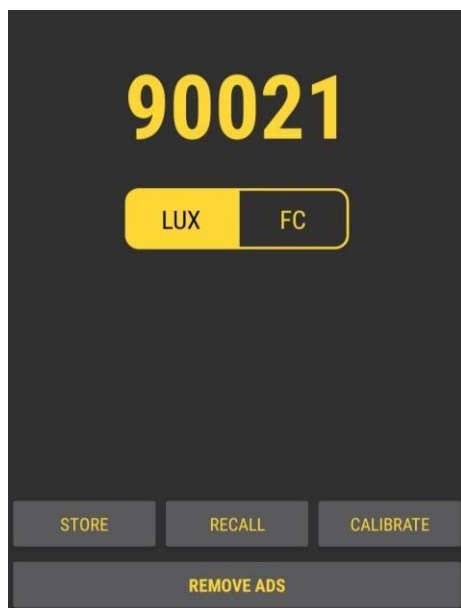
Gambar 24. Termometer



Gambar 25.Thermogun



Gambar 27. Pengukuran Air Suhu Output



Gambar 26. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari



Gambar 28. Pengukuran Suhu Panel