

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pembuatan Alat Uji Sistem PATS

Alat uji sistem PATS memerlukan beberapa komponen yaitu: tangki berkapasitas 60 liter air, kolektor matahari, rangka, perpipaan air dingin, perpipaan air panas, termokopel, data logger termokopel, piranometer, sensor temperatur udara luar, data logger dan rotameter.

##### 4.1.1 Tangki

Material yang digunakan dalam pembuatan tangki adalah plat baja karbon. Baja karbon digunakan karena memiliki *yield strength* cukup tinggi. Selain itu, baja karbon dapat ditemui dengan mudah dipasaran dan harganya terjangkau. Baja karbon yang digunakan pada perancangan ini yaitu baja karbon A283 Gr. A dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.1 Tegangan ijin baja karbon (ASME, 2002)

Spec. No.	Grade	Specified Min. Strength (ksi)		Basic Allowable Stress (ksi) at Material Temperature (°F)		
		Tensile	Yield	100	200	300
A 283	A	45	24	13,8	13,2	12,5
A 570	30	49	30	15	15	15
A 283	B	50	27	15,3	14,6	14
A 570	33	52	33	15,9	15,9	15,9

Hasil dari pembuatan tangki yang dirancangan memiliki panjang 122 cm, diameter 25, dan tebal shell 2 mm seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Skema tangki berkapasitas 60 liter

Insulasi pada perancangan PATS digunakan untuk meredam kalor yang hilang ke lingkungan, diketahui bahwa semakin tebal insulasi yang digunakan maka harga koefisien perpindahan kalor semakin kecil. Bahan utama yang digunakan sebagai insulasi tangki adalah *glasswool* dengan konduktivitas 0,038 W/m.K seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Konduktivitas termal (Holman, 2002)

Material	Thermal conductivity <i>k</i>	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28

#### 4.1.2. Kolektor matahari

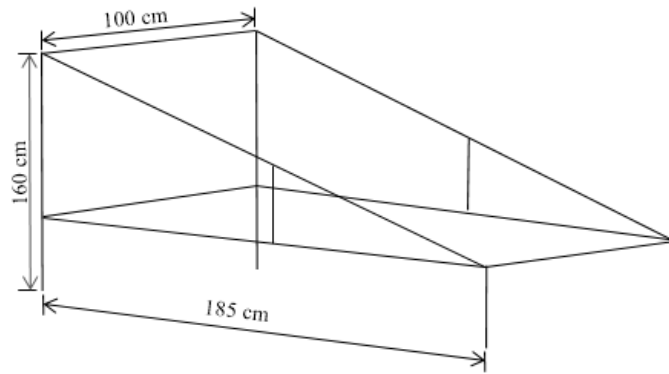
Kolektor matahari digunakan untuk menghasilkan air panas dengan sumber kalor berasal dari energi matahari. Kolektor matahari yang digunakan adalah tipe pelat datar dan kaca tunggal *tempered* dengan tebal kaca 5 mm. Ukuran kolektor adalah 199 cm x 100 cm x 9 cm. Pipa air terbuat dari tembaga berdiameter luar  $\frac{1}{2}$  inci dan plat penyerap berbahan aluminium tebal 0,5 mm bercat hitam. Kolektor dipasang dengan *tilt angle*  $17^\circ$  agar penerimaan radiasi matahari optimal, pemilihan *tilt angle* disesuaikan dengan sudut lintang selatan Yogyakarta  $7^\circ 48'$ . Penggunaan  $17^\circ$  dihasilkan dari menggunakan rumus kemiringan yaitu  $10^\circ$  sehingga didapat hasil  $7^\circ + 10^\circ = 17^\circ$ .



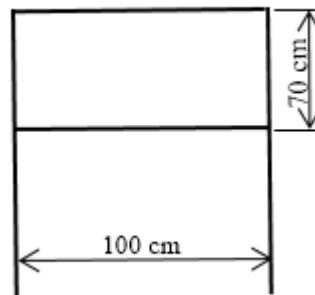
Gambar 4.2. Kolektor matahari

#### 4.1.3. Rangka

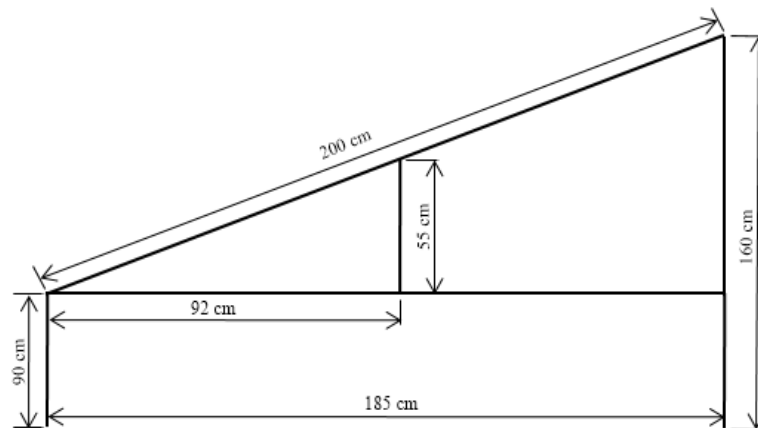
Terdapat 2 jenis rangka yang digunakan untuk menempatkan panel kolektor dan tangki TES. Rangka terbuat dari besi siku ukuran 3 cm dan 3,5 cm. Pada Gambar 4.3 menunjukkan ukuran rangka kolektor matahari adalah panjang 185 cm, tinggi sisi bawah 55 cm dan tinggi sisi atas 160 cm. Sedangkan Gambar 4.4 menunjukkan ukuran rangka tangki TES adalah panjang 150 cm, lebar 30 cm dan tinggi 153 cm.



(a)



(b)



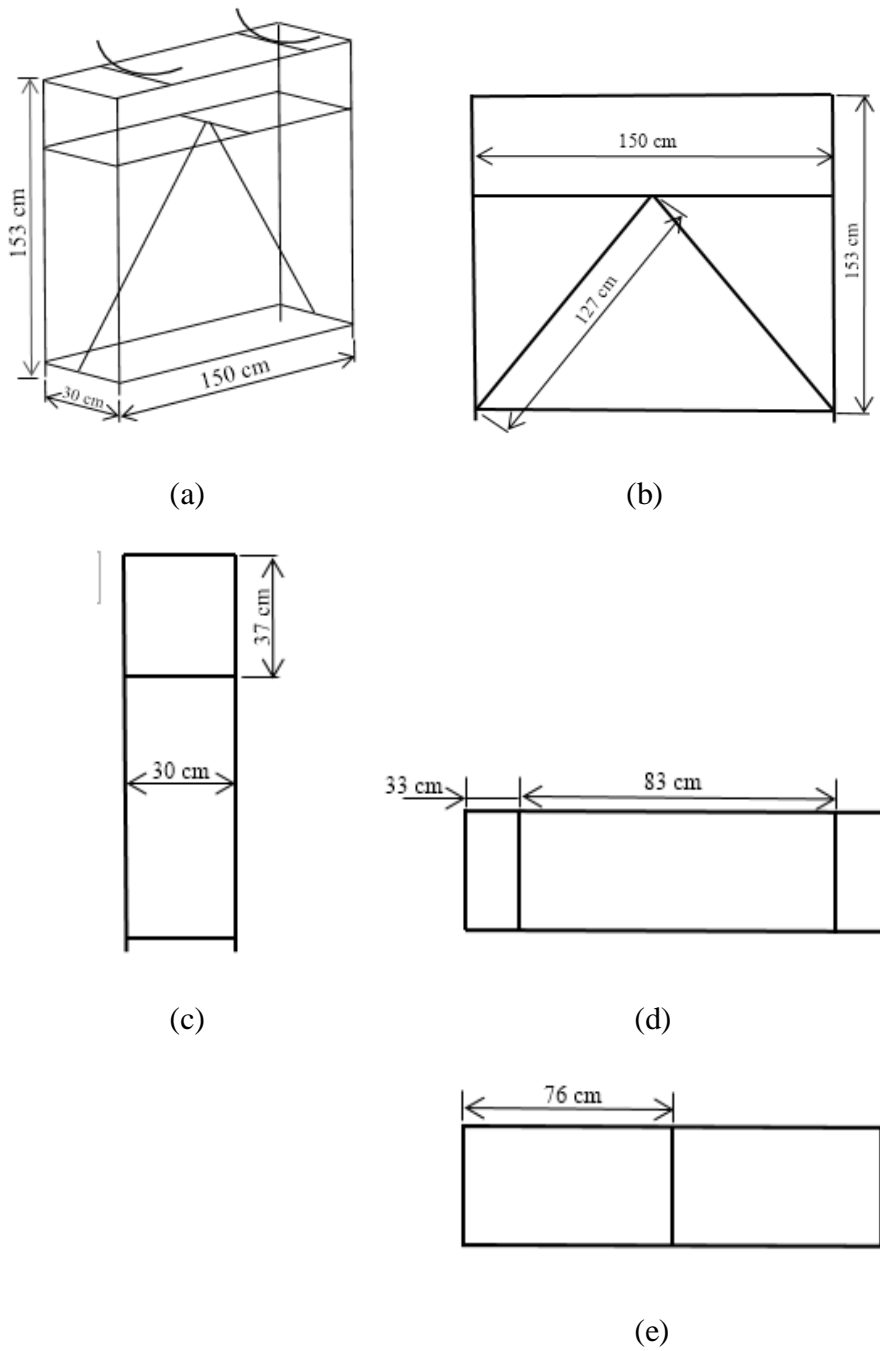
(c)

Gambar 4.3. Hasil desain rangka kolektor

(a) Gambar 3 Dimensi

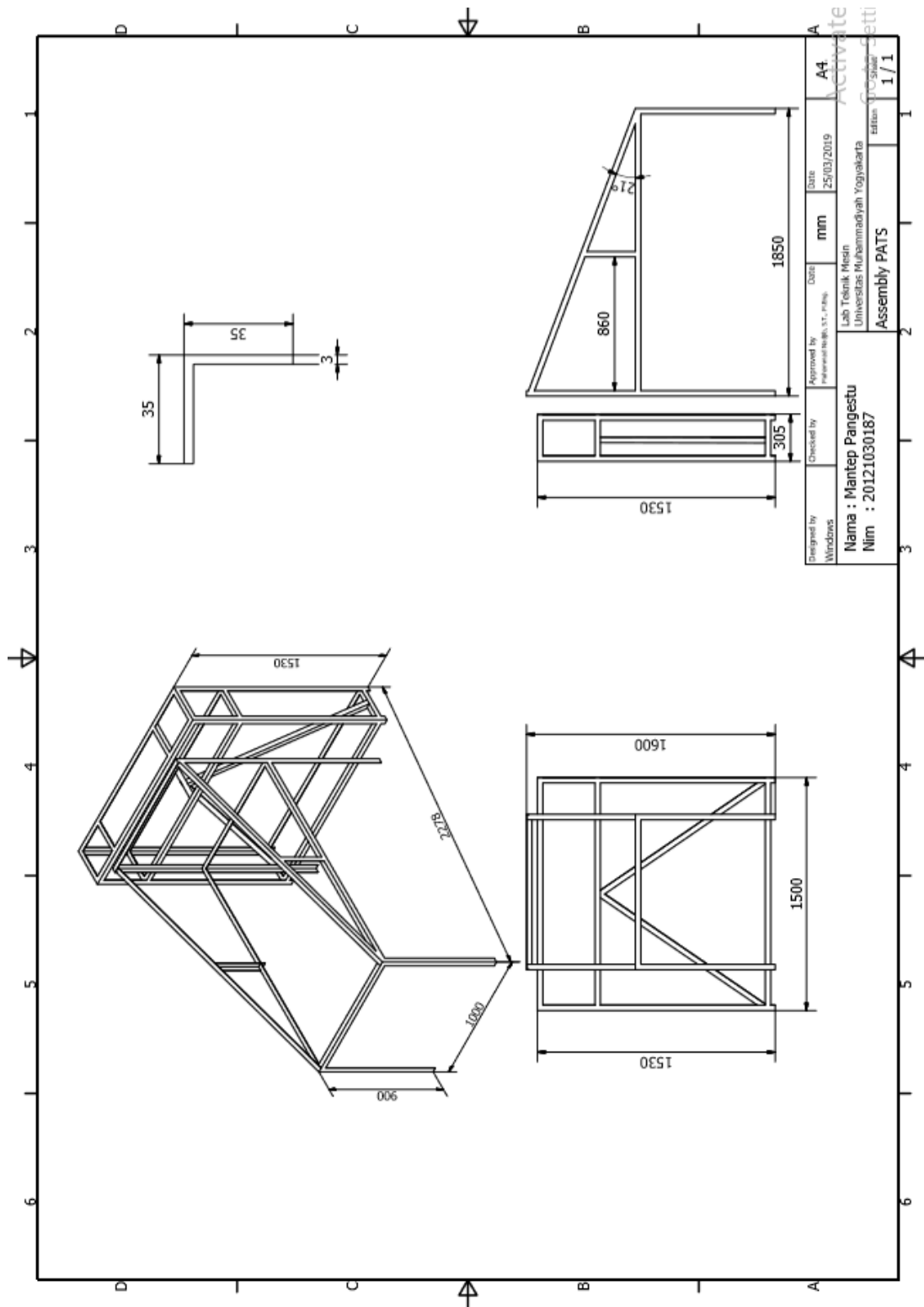
(b) Tampak Depan

(c) Tampak Samping

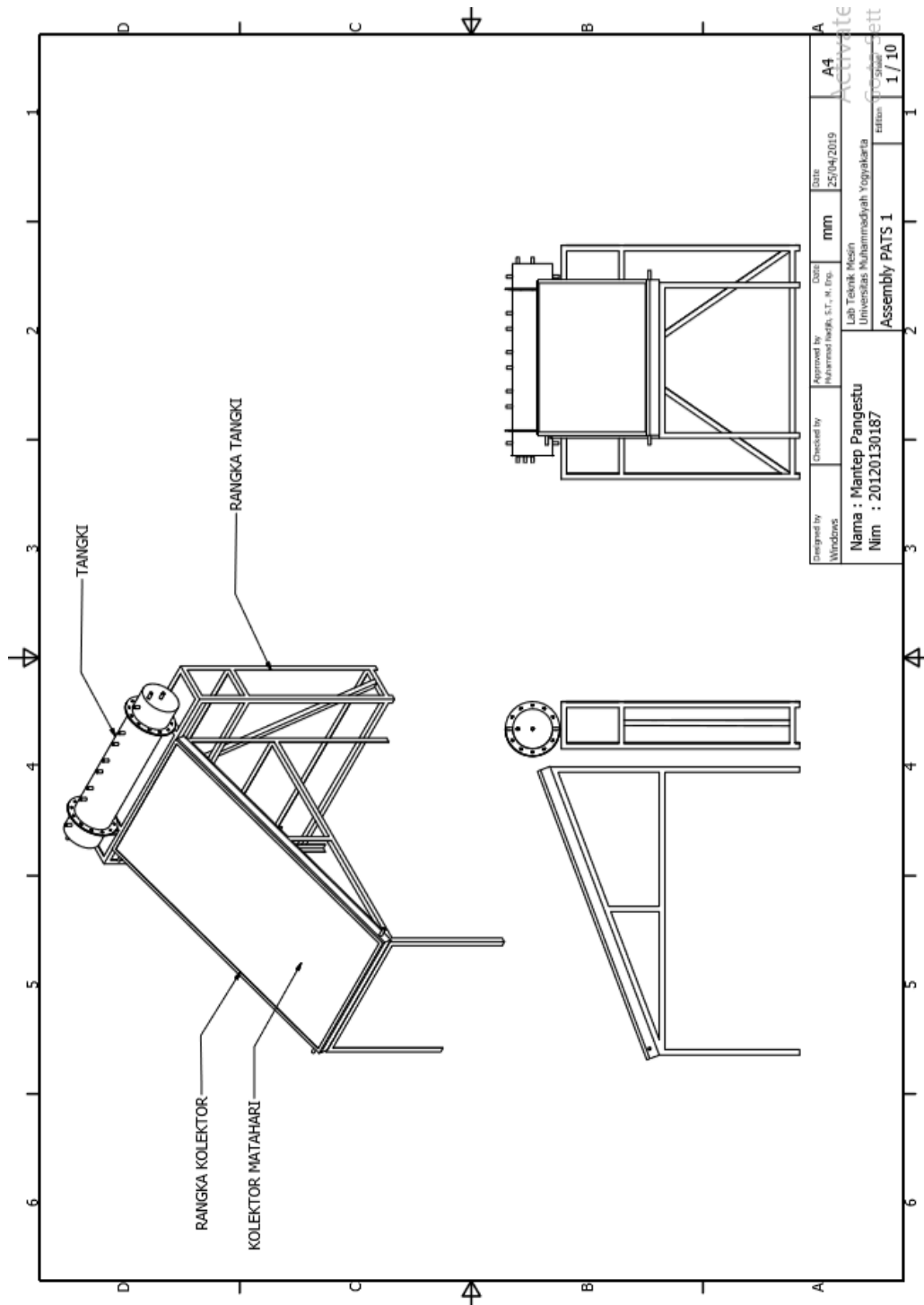


Gambar 4.4. Hasil desain rangka tangki

- (a) Gambar 3 Dimensi
- (b) Tampak Depan
- (c) Tampak Samping
- (d) Rangka Atas
- (e) Rangka Bawah



Gambar 4.5. Gambar Teknik 1



Gambar 4.6. Gambar Teknik 2

#### 4.1.4. Sistem perpipaan

pada penelitian ini sistem instalasi perpipaan dibagi menjadi 3 bagian yaitu pipa antara panel kolektor dan tangki TES, pipa antara bak air dingin dan tangki TES, dan pipa pemakaian air panas. Pemakaian pipa plastik berdiameter  $\frac{3}{4}$  inci pada pipa antara panel kolektor dan tangki TES serta pipa pemakaian air panas sedangkan pipa PVC berdiameter  $\frac{3}{4}$  inci digunakan untuk pipa antara bak air dingin dan tangki TES. Langkah untuk mengurangi kalor yang hilang kelingkuangan maka pipa tembaga diberi isolator berupa pita asbes dan *aluminium tape*.

Pada sistem perpipaan dipasang dua buah *gate valve* (K2 dan K5), dan enam buah *stop valve* (K1, K3, K4, dan K6). *Gate valve* digunakan untuk mengatur aliran secara teliti. *Stop valve* berfungsi untuk membuka dan menutup aliran air dengan cepat.

#### 4.1.5. Kapsul PCM

Kapsul PCM yang terdapat di dalam tangki yang berisi *paraffin wax* dengan jumlah 24 buah. Kapsul berbahan pipa tembaga berdiameter luar 1 inci dan panjang 100 cm. Volume total ruang kapsul untuk PCM sebesar 11,8 liter. Massa total PCM padat di dalam kapsul adalah 8,95 kg. Pipa kapsul tersebut disusun di dalam tangki TES secara segaris dan semetris terhadap sumbu Gambar 4.7. Ujung kapsul dipasang baut M10 untuk akses masuk *paraffin* cair. Kapsul dimasukkan pada dua buah pelat penyangga agar terpasang kuat Gambar 4.8. Pelat penyangga ini dipasang di antara flens.



Gambar 4.7. Susunan Kapsul PCM di dalam Tangki





Gambar 4.8. Penyangga Kapsul pada Tangki TES

#### 4.1.6. Piranometer dan sensor temperatur udara luar

piranometer berfungsi untuk mengukur intensitas radiasi matahari yang terpancar pada kolektor. piranometer di pasang sesuai dengan kemiringan kolektor matahari. Piranometer yang digunakan adalah tipe silikon pyranometer S-LIB-M003 dengan pengukuran radiasi berkisar 0 – 1280 W/m<sup>2</sup> dan spectral range 300 – 1100 nm. Sensor temperatur udara luar digunakan untuk merekan data yang terletak dekat dengan kolektor , piranometer dan sensor temperatur udara luar dihubungkan dengan HOBO Weather station logger tipe H21-H002. Pengambilan data pada komputer menggunakan kabel RS-232.



Gambar 4.9. Sensor temperatur udara

Tabel 4.3. Spesifikasi temperatur udara

Kisaran suhu operasi	-40°C - 70°C (RH 0-100%)
Akurasi	± 0,21°C dari 0°C sampai 50°C



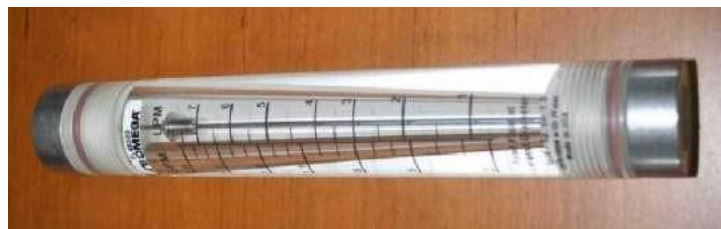
Gambar 4.10. Piranometer

Tabel 4.4. Spesifikasi piranometer

Ukuran	4.1 cm high x 3.2 cm diameter (1 5/8 in. X 1 1/4 in.)
Berat	120 g
Panjang kabel	3 m (9.8 ft)
Akurasi	$\pm 10 \text{ W/m}^2 / ^\circ\text{C}$ dari $25^\circ\text{C}$ ( $0.21 \text{ W/m}^2 / ^\circ\text{F}$ dari $77^\circ\text{F}$ )
Resolusi	$1.25 \text{ W/m}^2$
Rantang spektral	300 sampai 1100 nm
Kisaran suhu operasi	$-40^\circ\text{C}$ sampai $75^\circ\text{C}$ ( $-40^\circ\text{C}$ sampai $167^\circ\text{F}$ )

#### 4.1.7 Rotameter air dingin

Alat ini digunakan untuk mengatur laju aliran air dari bak air dingin menuju tangki TES (*Termal Energy Storage*) selama proses *discharging*. Alat ini memiliki tipe FL46300 (in-line) dan memiliki pengukuran kisaran 1 – 7,5 LPM dengan batas temperatur  $65^\circ\text{C}$ .



Gambar 4.11. Rotameter air dingin

Tabel 4.5. Spesifikasi rotameter air dingin

Akurasi	$\pm 5\%$
Meter body	Acrylic
Batas temperatur	65°C (150°F) at 0 psig
Batas tekanan	150 psig at 21°C (70°F)
Penurunan tekanan	2 psi max
Berat	680 g (1.5 lb)

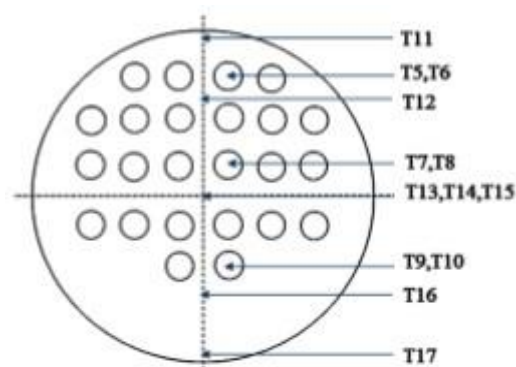
#### 4.1.8. Kalibrasi termokopel

Termokopel berfungsi sebagai sensor pembacaan data temperatur pada HTF dan PCM. Kalibrasi dilakukan bertujuan untuk mendapatkan harga rill dari temperatur yang dibaca oleh termokopel dengan hasil seperti pada Tabel 4.6. sebagai berikut.

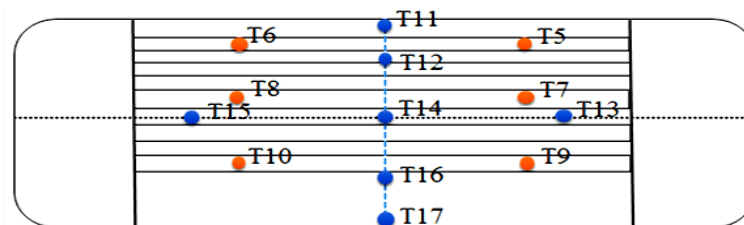
Tabel 4.6. Kalibrasi Termokopel

No	Termokopel	Posisi	R <sup>2</sup>	Kalibrasi
1	T1	masuk tangki	0,999	$y = 1.220x - 5.505$
2	T2	keluar tangki	0,999	$y = 1.220x - 5.458$
3	T5	PCM	0,999	$y = 1.223x - 5.814$
4	T6	PCM	0,999	$y = 1.226x - 5.927$
5	T7	PCM	0,999	$y = 1.223x - 6.052$
6	T8	PCM	0,999	$y = 1.227x - 6.163$
7	T9	PCM	0,999	$y = 1.217x - 5.410$
8	T10	PCM	0,999	$y = 1.222x - 5.02$
9	T11	HTF	0,993	$y = 1.189x - 2.305$
10	T12	HTF	0,999	$y = 1.222x - 5.314$
11	T13	HTF	0,999	$y = 1.220x - 5.247$
12	T14	HTF	0,999	$y = 1.224x - 5.447$
13	T15	HTF	0,999	$y = 1.222x - 5.435$
14	T16	HTF	0,998	$y = 1.234x - 6.208$
15	T17	HTF	0,998	$y = 1.229x - 5.465$

Letak dari ke-15 termokopel dipasang pada posisi yang berbeda-beda. T1 dipasang pada sisi masuk tangki TES dan T2 dipasang pada sisi keluar tangki TES ke kolektor, sedangkan sisanya berada didalam tangki TES. T5-T10 dipasang pada PCM dan T11-T17 dipasang pada HTF. Pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menunjukkan posisi termokopel di dalam tangki TES. Termokopel yang dipakai adalah tipe K



Gambar 4.12. Skema letak termokopel di dalam tangki TES (tampak samping)



Gambar 4.13. Skema letak termokopel di dalam tangki TES (tampak depan)

#### 4.1.9. Data logger

Data logger yang digunakan ada dua dan memiliki fungsi yang berbeda-beda. Gambar 4.14 menunjukkan data logger termokopel digunakan untuk merekam suhu dan kelembaban di dalam tangki, hasil data yang di peroleh di transfer menggunakan USB-4718 (Adventech) berjumlah 3 buah. Gambar 4.15 menunjukkan data logger yang digunakan memiliki fungsi sebagai perekam data radiasi, termokopel tersebut di rancang bedekatan dengan kolektor matahari. Termokopel yang digunakan adalah tipe H21-002.



Gambar 4.14. Data logger termokopel

Tabel 4.7. Spesifikasi data logger

Analog input		Isolated digital input	
Akurasi	$\pm 0.1\%$ for voltage input	Channels	8
Bandwidth	13.1 Hz @ 50 Hz 15.72 Hz @ 60 Hz	Input voltage	logic 0: 3 V max logic 1: 5 V min (30 V max)
Resolusi	16 bits	Isolasi protek	2.500 V <sub>DC</sub>
Input impedance	1.8 M $\Omega$	Opto-isolator response	25 $\mu$ s
Channels	8 differential		
Input tipe	thermocouple, mV, V, mA		

Tabel 4.7. Spesifikasi data logger (lanjutan)

Isolated digital output		General	
Channels	8	Bus tipe	USB 2.0
Output tipe	Sink (NPN)	Ukuran	132 x 80 x 32 mm (5.2" x 3.15" x 1.26")
Isolasi protek	2.500 V <sub>DC</sub>	Power komsumsi	100 mA @ 5 V
Output voltage	5 – 30 V <sub>DC</sub> , 1.1 A max./ total	Operasi suhu temperatur	0 - 60°C (32 - 140°F)
Sink current	200 mA max./ channel	Ketahanan suhu	-20° - 70°C (-4° - 158°F)
Opto-isolator response	25 $\mu$ s	Ketahanan kelembaban	5 – 95% RH non-condensing



Gambar 4.15. Data logger radiasi

Tabel 4.8. Spesifikasi data logger radiasi

Ukuran	8.9 cm H x 11.4 cm D x 5.4 W (3.5 x 4.5 x 2. 125 inci)
Berat	0.36 kg (0.8 lb)
Komunikasi	3.5 mm serial port
Ketepatan waktu	0 – 2 detik untuk data pertama dan $\pm 5$ detik per minggu dengan suhu 25°C (77°F)
Batre life	1 tahun
Memori	512 K penyimpanan data flash non-volatile

#### 4.1.10. Glasswol

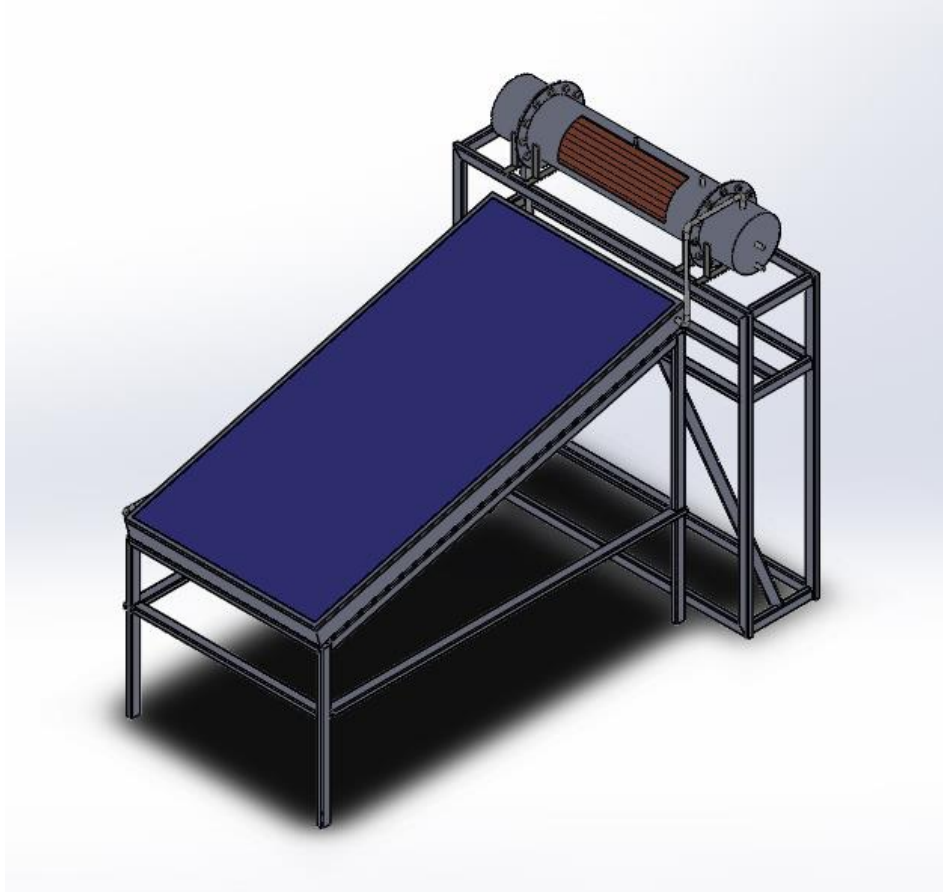
Penggunaan glasswool pada perancangan sistem PATS berfungsi sebagai insulasi peredam panas, suhu yang terdapat dari luar lingkungan tidak mempengaruhi kinerja tangki dan suhu yang terdapat didalam tangki tidak keluar ke lingkungan sehingga mengakibatkan kestabilan suhu yang terdapat didalam tangki. Diketahui bahwa semakin tebal insulasi yang digunakan maka harga koefisiensi perpindahan kalor semakin kecil. Ketebalan perancangan insulasi yang digunakan yaitu 1,7 cm. Diketahui bahwa hasil didapat dari perhitungan suhu air, suhu lingkungan, panjang tangki, dan jari-jari luar tangki. Gambar 4. Menunjukkan perancangan glasswol yang digunakan pada sistem PATS.



Gambar 4.16. Perancangan Glaswool Pada Tangki Dilapisi Alumunium Foil.

#### 4.2. Hasil Pembuatan dan Perancangan

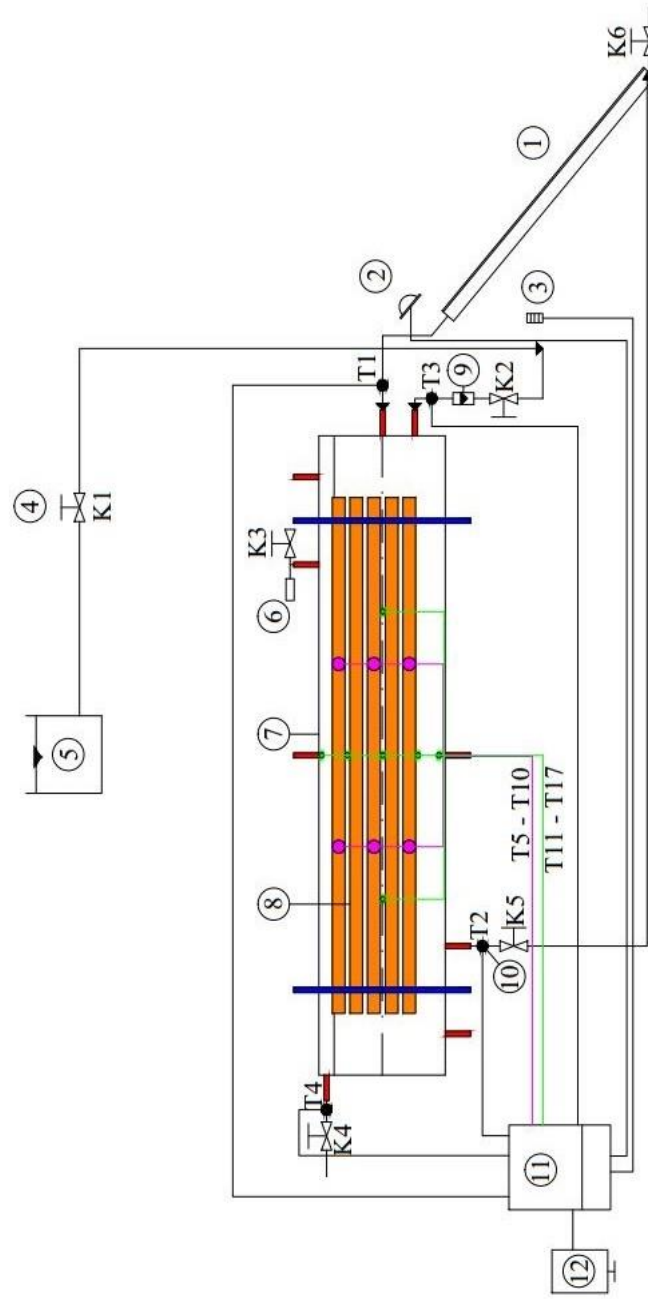
Hasil pembuatan dan perancangan sistem PATS terlihat pada Gambar 4.17.



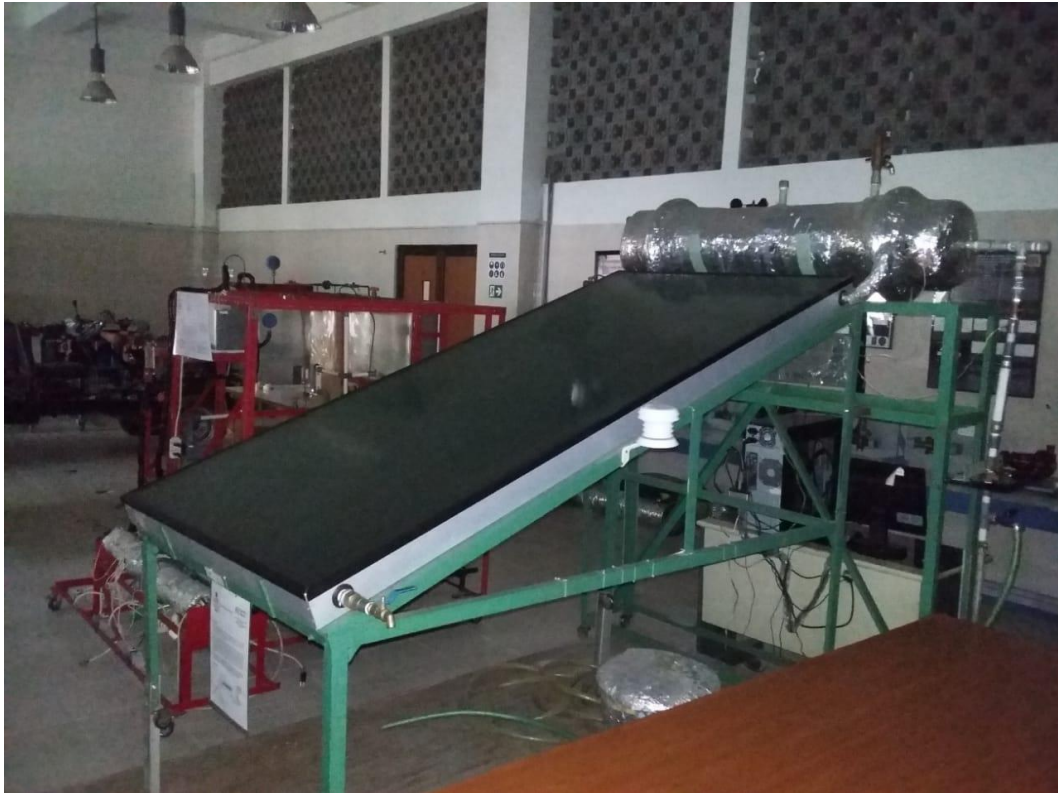
Gambar 4.17. Desain 3D sistem PATS

Hasil dari pembuatan alat uji sistem PATS perlu dilakukan uji coba fungsional alat yang telah dibuat, diharapkan alat dapat digunakan untuk melakukan eksperimen. Eksperimen yang penulis lakukan pada sistem PATS ialah proses charging dan discharging continyu.





Gambar 4.15. Skema alat perancangan: 1. Kolektor 2. Piranometer 3. Sensor udara luar 4. Katup air 5. Bak air 6. Katup pengaman 7. Tangki 60 liter 8. Kapsul PCM 9. Rotameter air 10. Termokopel 11. Data logger 12. PC



Gambar 4.19. Alat sistem PATS berbasis PCM

#### 4.3. Uji Coba Alat Sistem PATS Yang Melibatkan PCM

Uji coba alat sistem PATS diperlihatkan secara skematis pada Tabel 4.3.

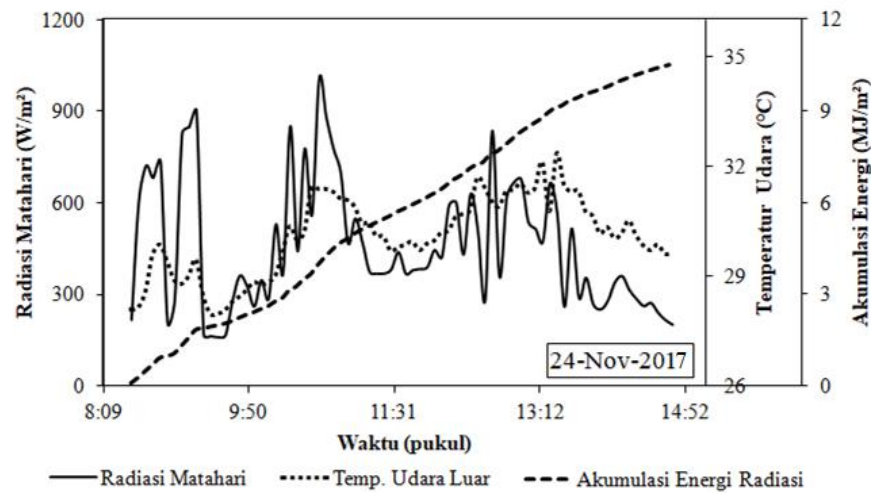
Data

Tabel 4.9. Data Uji Coba Pendahuluan

Tanggal pengamatan	24 November 2017
Waktu pengamatan	08.00 – 16.00 (8 jam)
Lokasi pengambilan data	Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Kemiringan kolektor	17°
Interval pengambilan data	5 menit
Temperatur lingkungan	28°C - 30°C
Volume air total	60 liter
Temperatur rata-rata air masuk	29°C

#### 4.3.1 Kondisi lingkungan

Kondisi cuaca yang terjadi dilapangan sangat menentukan jumlah energi yang dapat diserap kolektor dari radiasi matahari. Potensi radiasi matahari direkam selama proses uji coba dan ditampilkan pada Gambar 4.20.

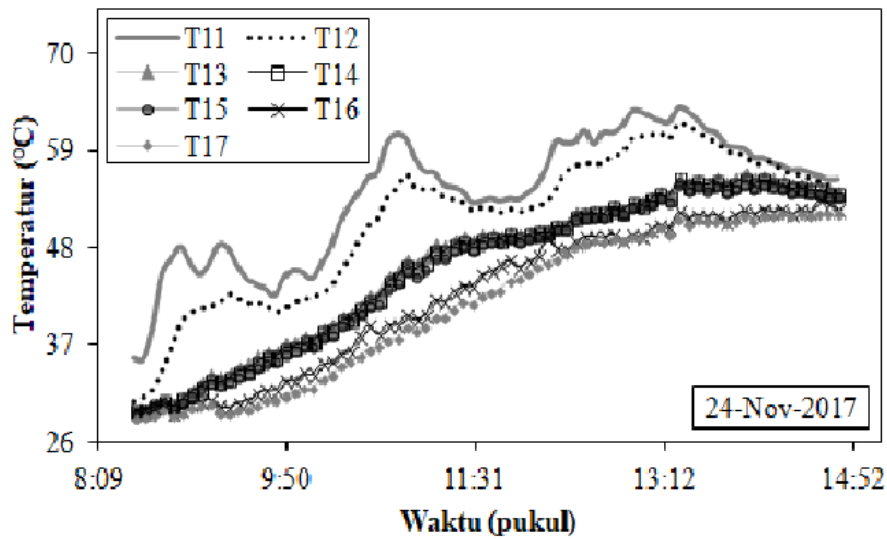


Gambar 4.20. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar selama proses *charging* pada uji coba *discharging kontinyu*.

Kondisi cuaca yang dihasilkan pada tanggal 24 November 2017. Jika dilihat dari gambar diatas potensi radiasi matahari yang dicapai sangat besar dengan radiasi maksimum dan akumulasi energi adalah  $1006,9 \text{ W/m}^2$  dan  $10,49 \text{ MJ/m}^2$ .

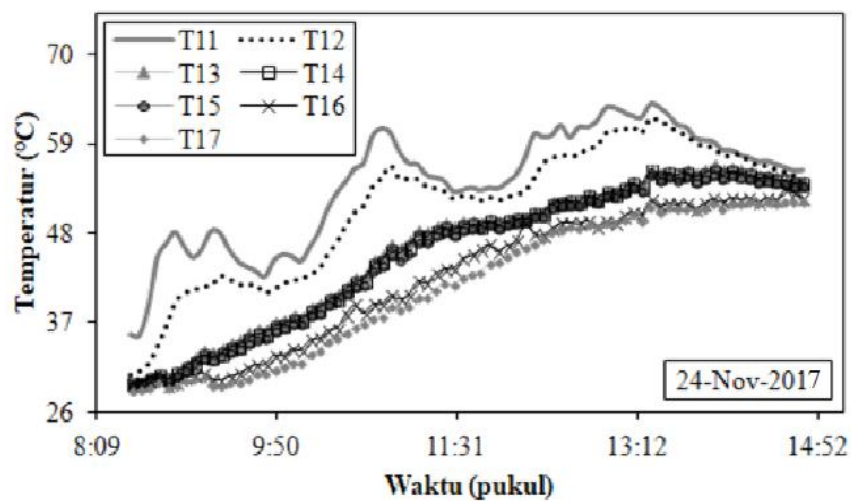
#### 4.3.2 Proses *Charging*

Istilah pada proses *charging* ialah merubah pancaran radiasi matahari menjadi energi termal di dalam kolektor. Energi termal yang tersimpan digunakan untuk memanaskan HTF yang bersikulasi di dalam tangki TES pada sistem PATS. Sebagian energi termal yang terdapat di dalam tangki TES di-*transfer* ke PCM. Pada Gambar 4.21 menunjukkan rekaman hasil dari evolusi temperatur HTF di dalam tangki TES pada 7 termokopel, yaitu T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17.



Gambar 4.21. Evolusi temperatur HTF pada proses *charging* dengan percobaan uji coba *discharging continyu*.

Perekaman evolusi temperatur tidak hanya terjadi pada HTF, tetapi juga dilakukan perekaman evolusi pada PCM dengan menggunakan 6 termokopel, yaitu T5, T6, T7, T8, T9, dan T10, yang dipasang pada 3 pipa PCM berbeda. T5 dan T6 dipasang pada pipa PCM di bagian atas, T7 dan T8 dipasang pada pipa PCM di bagian tengah, T9 dan T10 dipasang pada pipa PCM di bagian bawah. Evolusi temperatur PCM selama proses *charging* dapat dilihat pada Gambar 4.22 sebagai berikut.

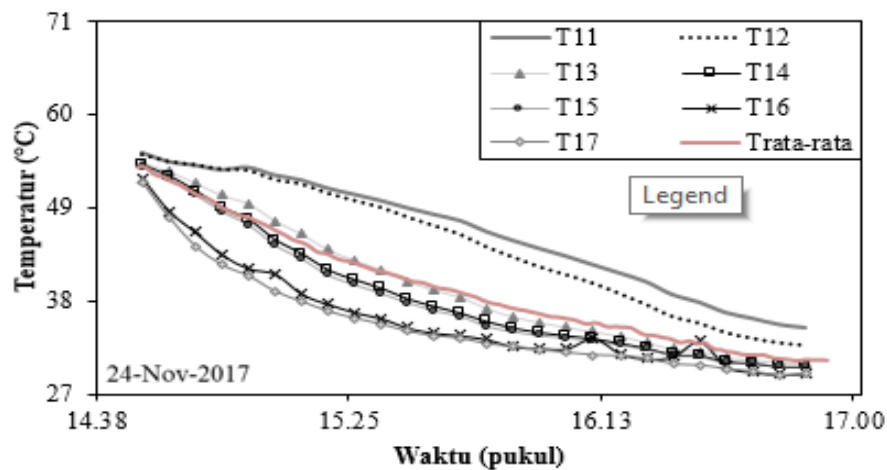


Gambar 4.22. Evolusi temperatur PCM pada proses *charging* dengan percobaan uji coba *discharging continyu*.

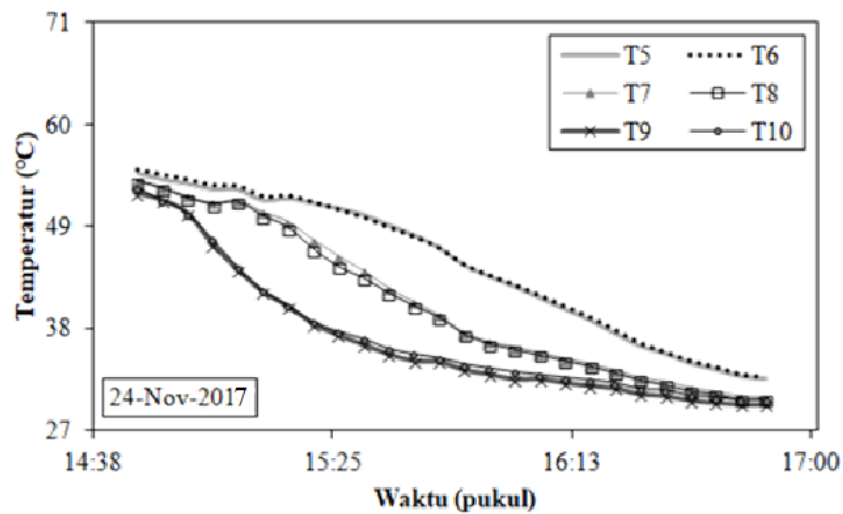
Akhir dari uji coba HTF dan PCM diketahui temperatur rata-rata pada tanggal 24 November 2017 adalah 54 °C dan 53,85 °C hal ini terjadi dikarenakan intensitas radiasi matahari dan temperatur udara lingkungan pada tanggal tersebut berfluktuasi sehingga proses *charging* yang dilakukan mengalami penurunan yang mengakibatkan besarnya *heatloss* yang terjadi.

#### 4.3.3. Proses *Discharging*

Proses *discharging* ialah melakukan pengisian air ke dalam tangki dan mengeluarkannya ke lingkungan dengan kecepatan 2 LPM. Hal ini dilakukan terus menerus hingga temperatur air di dalam tangki hampir sama dengan temperatur sumber air yang digunakan untuk mengisi tangki. Proses uji coba ini dilakukan pada tanggal 24 November 2017 dengan melakukan perekaman pada temperatur HTF selama proses *discharging* oleh T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17. Kemudian, dilakukan perekaman temperatur PCM selama proses *discharging* oleh T5, T6, T7, T8, T9, dan T10. Evolusi temperatur HTF dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan evolusi temperatur PCM ditunjukkan pada Gambar 4.24 sebagaimana dibawah ini



Gambar 4.23. Evolusi temperatur HTF selama proses *discharging kontinyu*



Gambar 4.24. Evolusi temperatur PCM selama proses *discharging kontinyu*

Bedasarkan hasil dari uji coba proses *discharging kontinyu* pada tanggal 24 November 2017, menunjukkan adanya penurunan temperatur di awal yang berlangsung cepat sehingga menandakan pelepasan kalor di awal begitu besar. Pelepasan kalor akan menurun seiring dengan waktu, disebabkan oleh PCM yang telah memasuki fase *solidification cooling stage*. Akan tetapi, penurunan temperatur tidak berlangsung stabil. Disebabkan berfluktuasinya penurunan temperatur di dalam tangki oleh sirkulasi yang tidak merata di seluruh bagian tangki TES.