

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk termokopel yang berada pada HTF, PCM dan permukaan kolektor. Hasil dari kalibrasi tiap termokopelnya disajikan pada Tabel 4.1, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4.

Tabel 4.1. Kalibrasi termokopel HTF

Termokopel	Kalibrasi	R <sup>2</sup>	Pemasangan
T11	$y = 1,243x - 5,882$	0,998	Vert. atas
T12	$y = 1,222x - 5,314$	0,999	Vert. atas-tengah
T13	$y = 1,220x - 5,247$	0,999	Hor. Kanan
T14	$y = 1,224x - 5,447$	0,999	Vert. tengah
T15	$y = 1,222x - 5,435$	0,999	Hor. Kiri
T16	$y = 1,234x - 6,208$	0,998	Vert. bawah-tengah
T17	$y = 1,229x - 5,465$	0,998	Vert. bawah

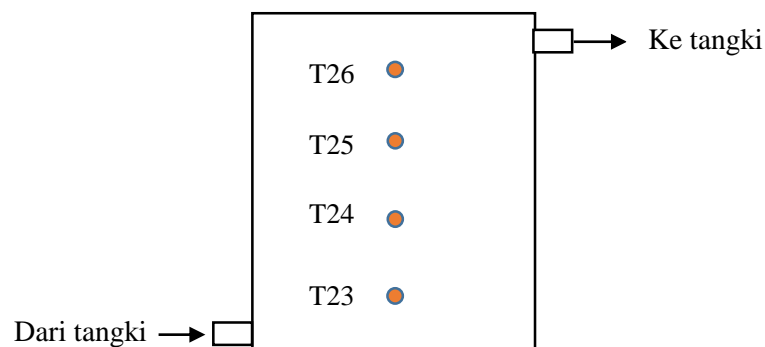
Tebel 4.2. Kalibrasi termokopel PCM

Termokopel	Kalibrasi	R <sup>2</sup>	Pemasangan
T5	$y = 1,223x - 5,814$	0,999	K3
T6	$y = 1,226x - 5,927$	0,999	K3
T7	$y = 1,223x - 6,052$	0,999	K14
T8	$y = 1,227x - 6,163$	0,999	K14
T9	$y = 1,217x - 5,410$	0,999	K24
T10	$y = 1,222x - 5,02$	0,999	K24

Posisi termokopel HTF dan PCM di atas dapat dilihat pada Gambar 3.2 dalam Bab III.

Tabel 4.3 Kalibrasi termokopel permukaan kolektor

Termokopel	Kalibrasi	R <sup>2</sup>	Pemasangan
T23	$y = 0,873x - 5,699$	0,999	Bawah
T24	$y = 0,946x - 0,042$	0,999	Bawah tengah
T25	$y = 0,892x - 4,260$	0,999	Atas tengah
T26	$y = 1,227x - 6,163$	0,999	Atas



Gambar 4.1. Letak termokopel pada permukaan kolektor

## 4.2. Proses *Charging*

Proses *charging* berlangsung selama kolektor menerima energi radiasi matahari hingga mencapai temperatur titik leleh PCM. Percobaan dilakukan 3 kali pada hari yang berbeda. Waktu pengujian dan lamanya pengujian disajikan pada tabel 4.4.

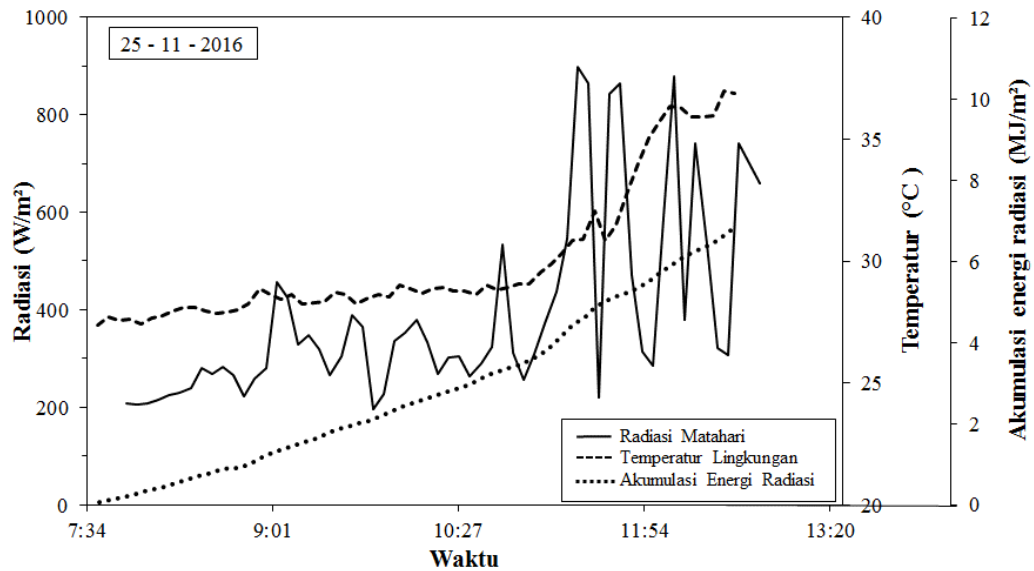
Tabel 4.4 Waktu pengujian

Hari	Awal <i>charging</i>	Akhir <i>charging</i>	Lama <i>charging</i>
I	Pukul 07:36 WIB	Pukul 12:35 WIB	300 menit
II	Pukul 07:36 WIB	Pukul 12:35 WIB	300 menit
III	Pukul 07:52 WIB	Pukul 12:51 WIB	300 menit

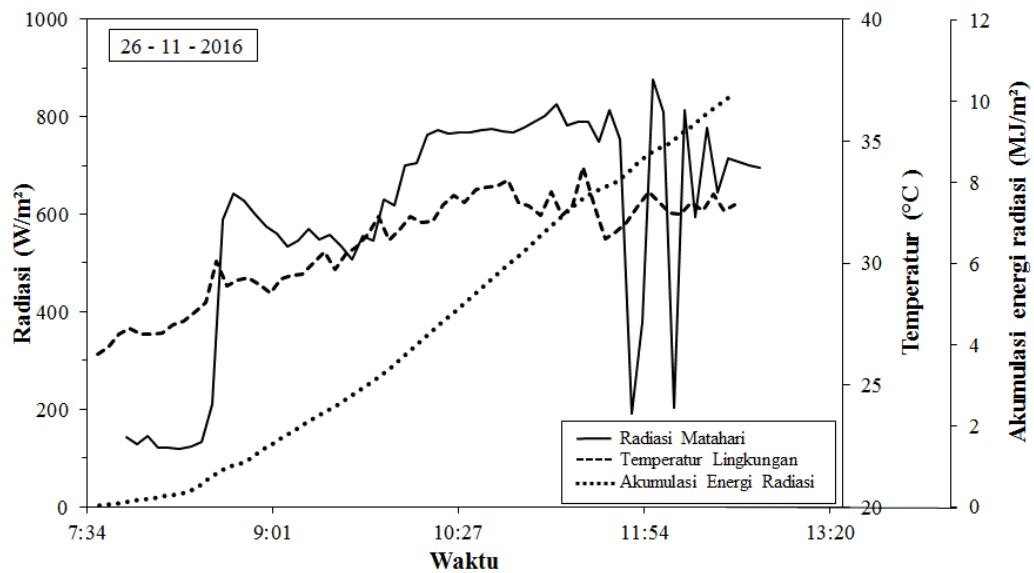
### 4.2.1. Intensitas Radiasi

Keadaan di sekitar pengujian, menjadi tolak ukur bekerjanya sistem PATS. Data yang dibutuhkan pada pengujian adalah radiasi yang diterima, temperatur

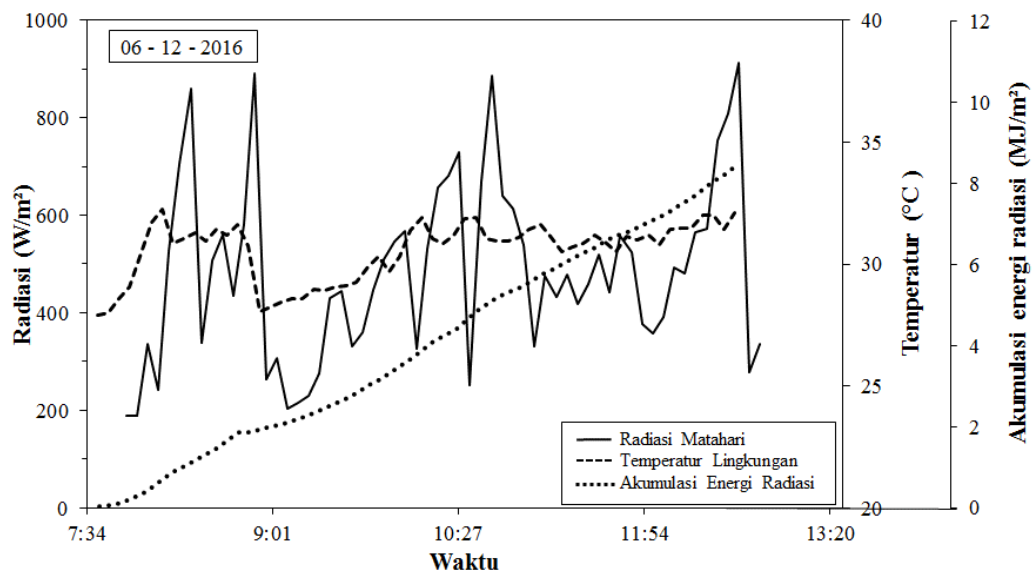
lingkungan dan hasil dari akumulasi energi radiasi. Grafik dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.



Gambar 4.2. Radiasi matahari dan akumulasi energi tanggal 25 November 2016



Gambar 4.3. Radiasi matahari dan akumulasi energi tanggal 26 November 2016



Gambar 4.4. Radiasi matahari dan akumulasi energi tanggal 06 Desember 2016

*Fluktuasi* yang terjadi pada intensitas radiasi mempengaruhi seluruh siklus kerja pada PATS. Faktor yang mempengaruhi diantaranya seperti cuaca sekitar, ketebalan awan, kelembaban udara, kadar *aerosol* pada lapisan atmosfer cukup tinggi. Beberapa faktor tersebut dapat menimbulkan *fluktuasi* intensitas radiasi yang diterima.

Pengujian tanggal 25 November 2016 ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pengujian dilakukan selama 300 menit, selama pengujian cuaca di sekitar cukup berawan. Dari awal pengujian hingga menit ke-195 *fluktuasi* yang terjadi tidak terlalu *signifikan*, namun 10 menit kemudian terjadi lonjakan intensitas radiasi sejalan dengan naiknya temperatur udara luar. Radiasi rata-rata yang diterima sebesar 392,95 W/m<sup>2</sup> dengan radiasi tertinggi sebesar 907 W/m<sup>2</sup> di menit ke-223, total akumulasi energi yang diperoleh selama pengujian sebesar 6,85 MJ/m<sup>2</sup>.

Pengujian ke-2 dilaksanakan tanggal 26 November 2016 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pengujian dilaksanakan selama 300 menit. Pada awal pengujian cuaca disekitar cerah. Intensitas radiasi mengalami kenaikan seperti yang diharapkan diikuti dengan naiknya temperatur udara luar. namun di menit ke-255 terjadinya *fluktuasi* yang cukup *signifikan* hingga akhir pengujian. Kenaikan dan

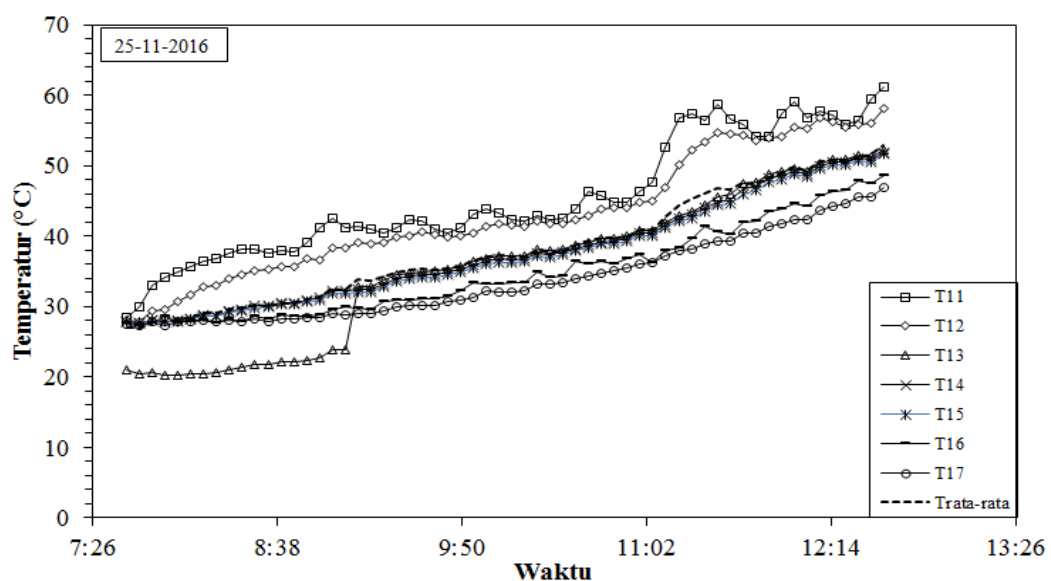
penurunan intensitas sangat drastis. Perubahan cuaca secara tiba-tiba dari cerah ke mendung menjadi penyebab berfluktuasinya grafik. Rata-rata radiasi yang diterima sebesar  $580,17 \text{ W/m}^2$ , radiasi tertinggi  $879,4 \text{ W/m}^2$  di menit ke-247, dengan total akumulasi energi sebesar  $10,23 \text{ MJ/m}^2$ .

Pengujian ke-3 yang dilaksanakan tanggal 06 Desember 2016 ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pengujian ini terlaksana selama 300 menit. dengan kondisi berawan. Untuk temperatur udara luar tidak jauh berbeda dengan pengujian ke 2 namun karena faktor cuaca yang berawan, intensitas radiasi yang diterima lebih kecil jika dibandingkan pengujian ke-2. Rata-rata radiasi yang diterima selama proses *charging* sebesar  $487,42 \text{ W/m}^2$ , radiasi tertinggi di menit ke-281 sebesar  $913,1 \text{ W/m}^2$ , dengan akumulasi energi yang diperoleh sebesar  $8,43 \text{ MJ/m}^2$ .

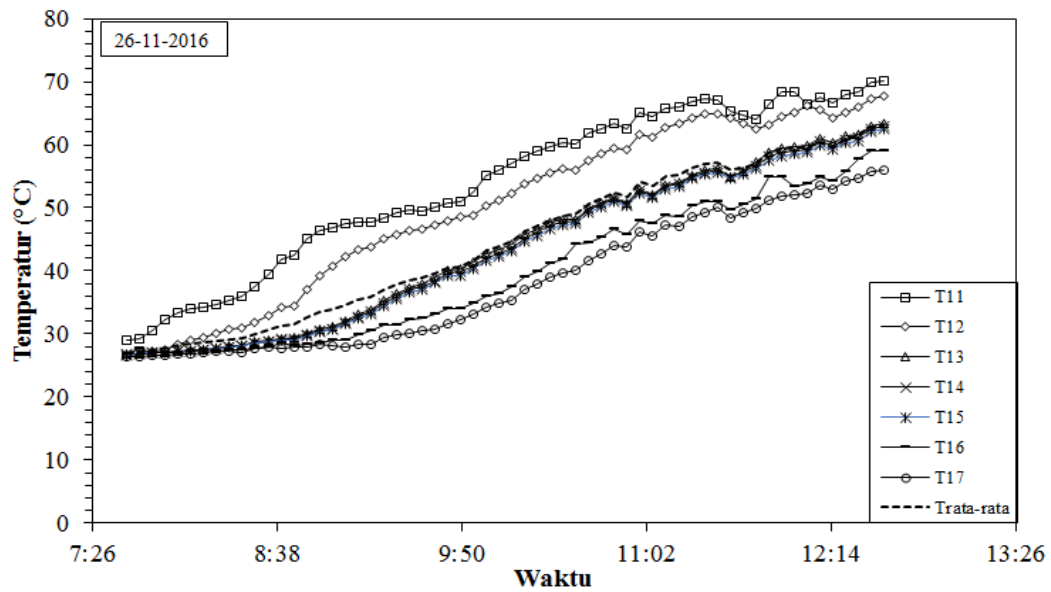
Berdasarkan Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 diketahui bahwa energi matahari yang menimpa kolektor terbesar terjadi pada tanggal 26 November 2016.

#### 4.2.2. Distribusi Temperatur HTF

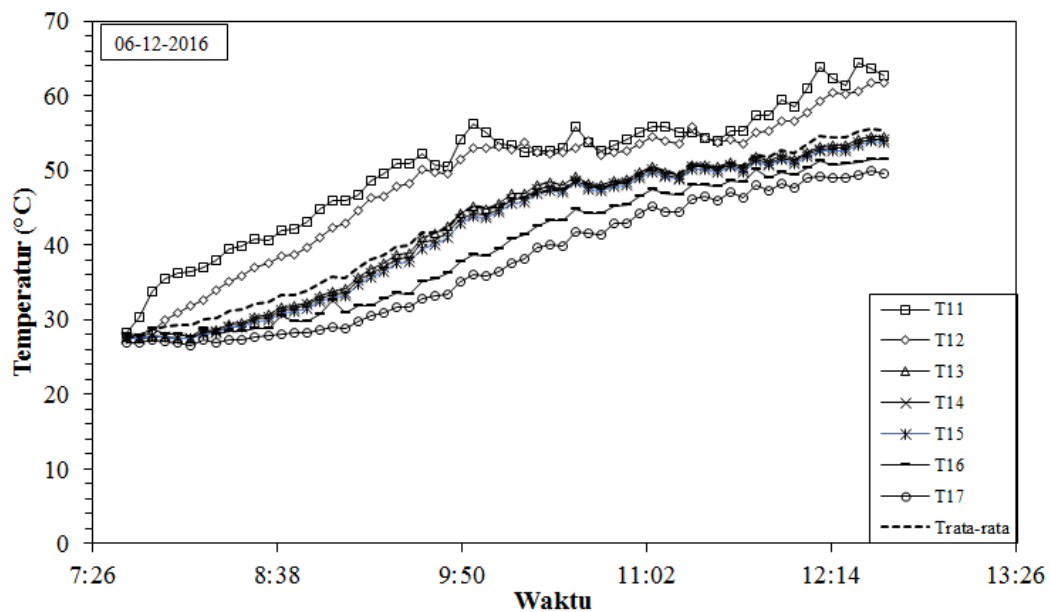
Dalam tangki TES terpasang beberapa termokopel untuk mengukur evolusi temperatur HTF selama proses pengujian berlangsung. Termokopel yang terpasang diantaranya : T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17. Grafik hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.5. Evolusi temperatur HTF tanggal 25 November 2016



Gambar 4.6. Evolusi temperatur HTF tanggal 26 November 2016



Gambar 4.7. Evolusi temperatur HTF tanggal 06 Desember 2016

Fluktuasi yang terjadi pada temperatur HTF disebabkan oleh intensitas radiasi yang diterima. Semakin besar intensitas radiasi yang diterima kecepatan pemanasan yang terjadi akan semakin besar. Kecepatan pemanasan yang dihasilkan mempengaruhi laju dari perpindahan kalor pada HTF, cepat atau lambatnya kinerja

sistem PATS bergantung pada faktor tersebut. Hasil dari penelitian didapatkan kenaikan temperatur yang terjadi berjalan lambat karena laju aliran massanya rendah, hal tersebut disebabkan laju aliran massanya mengandalkan aliran *thermosyphon* dimana kecepatan pemanasannya tergantung pada intensitas radiasi yang diterima.

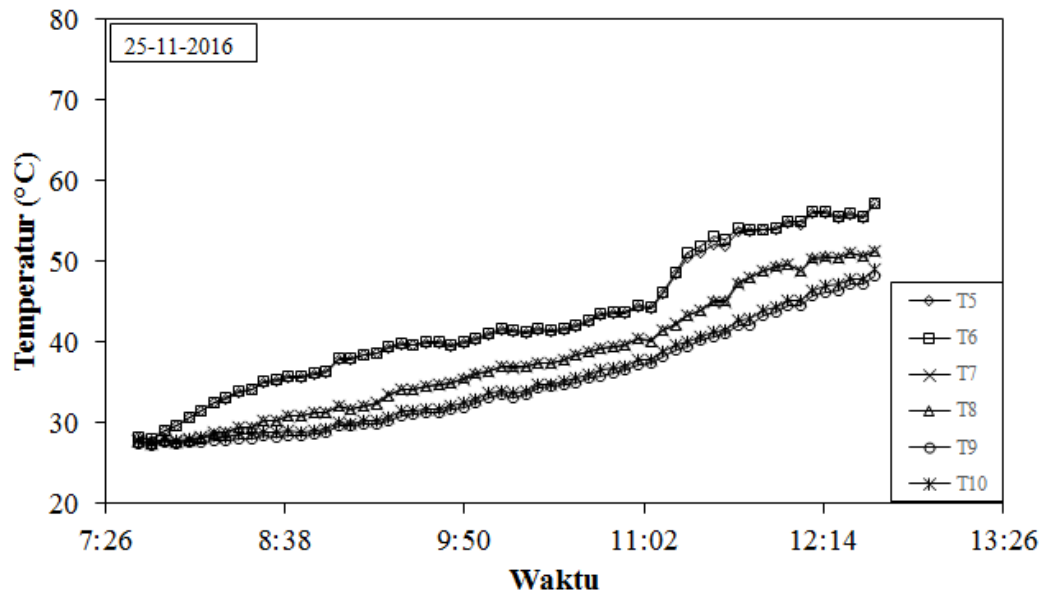
Hasil grafik penelitian selama 3 kali pengujian fluktuasi terjadi pada termokopel yang terpasang pada bagian atas tangki (T11,T12) dan pada bagian bawah tangki (T16,T17). Hal tersebut dapat terjadi karena temperatur air pada dua bagian tersebut berada pada zona tidak stabil, temperatur di dalam tangki akan terus berubah mengikuti intensitas radiasi yang diterima kolektor. Air yang memiliki temperatur tinggi akan berada pada bagian atas tangki karena karena massa airnya rendah sedangkan air bertemperatur rendah berada pada bagian bawah. Data dari termokopel bagian tengah temperatur air relatif stabil karena berada pada posisi di antara air bertemperatur tinggi dan bertemperatur rendah sehingga temperaturnya konstan. Jarak temperatur ( $\Delta T$ ) dari bagian atas dan bawah lebih kurang  $20^{\circ}\text{C}$ , jarak temperatur mengindikasikan keadaan cuaca disekitar.

Pengujian tanggal 25 November 2016 didapatkan temperatur rata-rata tiap termokopel T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17 sebesar  $45,46^{\circ}\text{C}$ ,  $43,13^{\circ}\text{C}$ ,  $35,86^{\circ}\text{C}$ ,  $37,92^{\circ}\text{C}$ ,  $37,60^{\circ}\text{C}$ ,  $35,12^{\circ}\text{C}$ , dan  $34,00^{\circ}\text{C}$ . Pada pengujian tanggal 26 November 2016 didapatkan temperatur rata-rata tiap termokopel T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17 sebesar  $53,95^{\circ}\text{C}$ ,  $50,21^{\circ}\text{C}$ ,  $43,92^{\circ}\text{C}$ ,  $43,61^{\circ}\text{C}$ ,  $39,91^{\circ}\text{C}$ ,  $38,34^{\circ}\text{C}$ . Pada pengujian tanggal 06 Desember 2016 didapatkan temperatur rata-rata tiap termokopel T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17 sebesar  $50,42^{\circ}\text{C}$ ,  $48,15^{\circ}\text{C}$ ,  $42,63^{\circ}\text{C}$ ,  $42,23^{\circ}\text{C}$ ,  $41,88^{\circ}\text{C}$ ,  $39,65^{\circ}\text{C}$ ,  $37,60^{\circ}\text{C}$ .

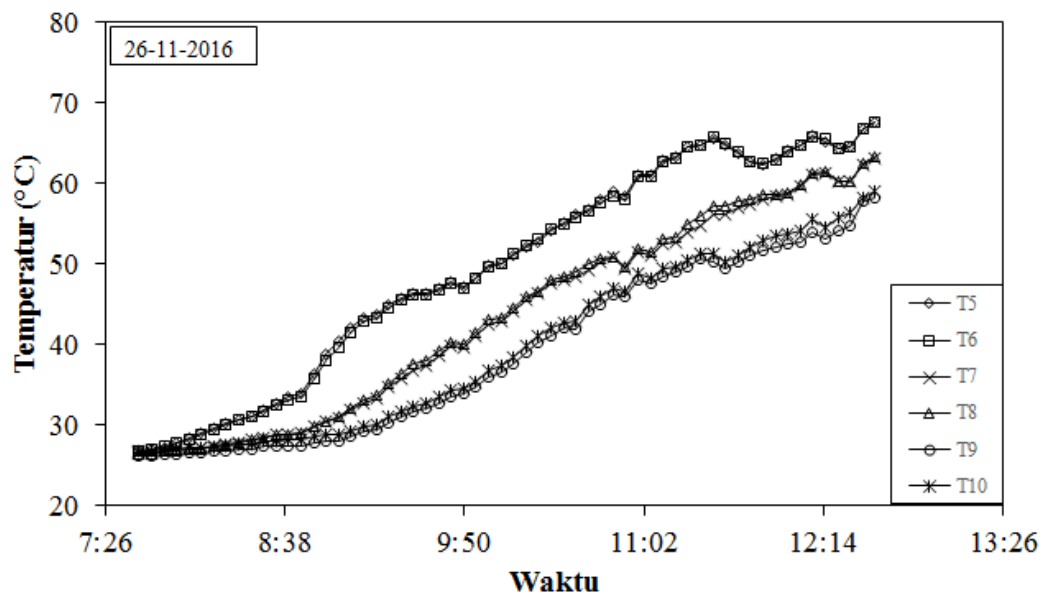
#### 4.2.3. Distribusi Temperatur PCM

Evolusi temperatur pada PCM mengidentifikasi sistem penyimpanan termal pada PATS sudah berjalan baik atau belum. Oleh sebab itu untuk mengetahui hal tersebut termokopel dipasang pada bagian depan dan belakang beberapa kapsul PCM. Letak dari pemasangan termokopel PCM dapat dilihat pada Gambar 3.2, termokopel yang terpasang T5,T7,T9 berada pada bagian depan kapsul, dan

T6,T8,T10 pada bagian belakang kapsul PCM. Hasil dari pembacaan data evolusi temperatur PCM disajikan pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.

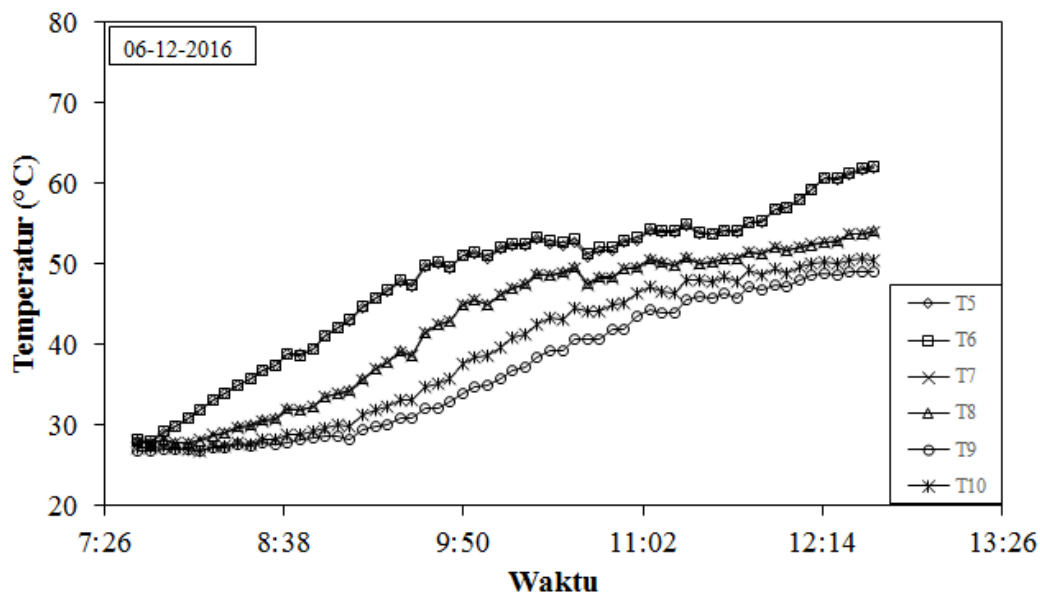


Gambar 4.8. Evolusi temperatur PCM tanggal 25 November 2016



Gambar 4.9. Evolusi temperatur PCM tanggal 26 November 2016





Gambar 4.10. Evolusi temperatur PCM tanggal 06 Desember 2016

Hasil dari ke-3 grafik pengujian evolusi temperatur PCM tidak jauh berbeda dengan HTF. Proses pemanasan yang berlangsung terjadi secara lambat karena laju aliran massanya rendah. Fluktuasi dari temperatur PCM mengikuti intensitas radiasi yang diterima dimana kenaikan temperatur PCM bergantung pada jumlah energi termal dari radiasi matahari yang diserap kolektor. Energi termal yang telah diserap kolektor dipindahkan melalui HTF menuju tangki untuk memanaskan PCM. Jarak dari temperatur ( $\Delta T$ ) termokopel T5 ke T10 lebih kurang  $15^{\circ}\text{C}$  lebih rendah dibandingkan dengan jarak temperatur HTF hal tersebut disebabkan karena sifat dari material PCM itu sendiri, kapasitas dari penyimpanan energi termal pada PCM lebih besar dibandingkan air sehingga jarak temperaturnya tidak terlalu jauh.

Temperatur akhir yang diperoleh pada pengujian tanggal 25 November 2016 Gambar 4.10 termokopel depan (T5,T7,T9) adalah  $58,11^{\circ}\text{C}$ ,  $51,08^{\circ}\text{C}$ , dan  $47,93^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk termokopel pada bagian belakang (T6,T8,T10) adalah  $58,19^{\circ}\text{C}$ ,  $51,09^{\circ}\text{C}$ , dan  $48,51^{\circ}\text{C}$ . Pada pengujian tanggal 26 November 2016 temperatur yang diperoleh pada termokopel bagian depan (T5,T7,T9) sebesar  $67,53^{\circ}\text{C}$ ,  $63,11^{\circ}\text{C}$ ,  $58,21^{\circ}\text{C}$  dan pada bagian belakang (T6,T8,T10) adalah  $67,52^{\circ}\text{C}$ ,  $63,22^{\circ}\text{C}$ ,  $59,00^{\circ}\text{C}$ . Temperatur akhir yang diperoleh termokopel pada pengujian 06 Desember 2016,

bagian depan (T5,T7,T9) adalah 61,90°C, 53,92°C, 49,00°C dan bagian belakang (T6,T8,T9) adalah 62,08°C, 54,19°C, 50,49°C.

#### 4.2.4. Kecepatan Pemanasan Rata-rata HTF dan PCM

Kecepatan pemanasan rata-rata merupakan nilai rata-rata dari kenaikan temperatur HTF dan PCM setiap interval waktu 1 menit (60 detik) selama proses *charging*. Untuk mendapatkan kecepatan pemanasan dilakukan perhitungan dimana temperatur saat ini ( $T_{k,2}$ ) dikurangi temperatur awal ( $T_{k,1}$ ) dibagi waktu. Berikut adalah contoh perhitungan kecepatan pemanasan.

Diketahui :

Temperature sebelumnya ( $T_{k,1}$ ) : 28°C  
 Temperatur saat ini ( $T_{k,2}$ ) : 28,05°C  
 Waktu (t) : 1 menit

Penyelesaian :

Kecepatan pemanasan,  $V_{\text{heat}}$  :  $(T_{k,2} - T_{k,1})/t$   
 :  $(28,05^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) / 1\text{menit}$   
 : 0,0523 °C/menit

Jadi kecepatan pemanasan yang berlangsung pada menit tersebut sebesar 0,0523 °C/menit.

Kecepatan pemanasan rata-rata HTF dan PCM ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Kecepatan pemanasan rata-rata HTF

Kecepatan pemanasan HTF			
Tanggal	Termokopel	Kecepatan pemanasan	Kecepatan pemanasan rata-rata
		°C/menit	°C/menit
25-Nov-16	T11	0,1218	0,0859
	T12	0,1070	
	T13	0,1067	
	T14	0,0837	
	T15	0,0537	
	T16	0,0560	
	T17	0,0724	
26-Nov-16	T11	0,1353	0,1209
	T12	0,1383	
	T13	0,1221	
	T14	0,1221	
	T15	0,1196	
	T16	0,1081	
	T17	0,1019	
06-Des-16	T11	0,1047	0,0895
	T12	0,1044	
	T13	0,0898	
	T14	0,0882	
	T15	0,0864	
	T16	0,0765	
	T17	0,0766	

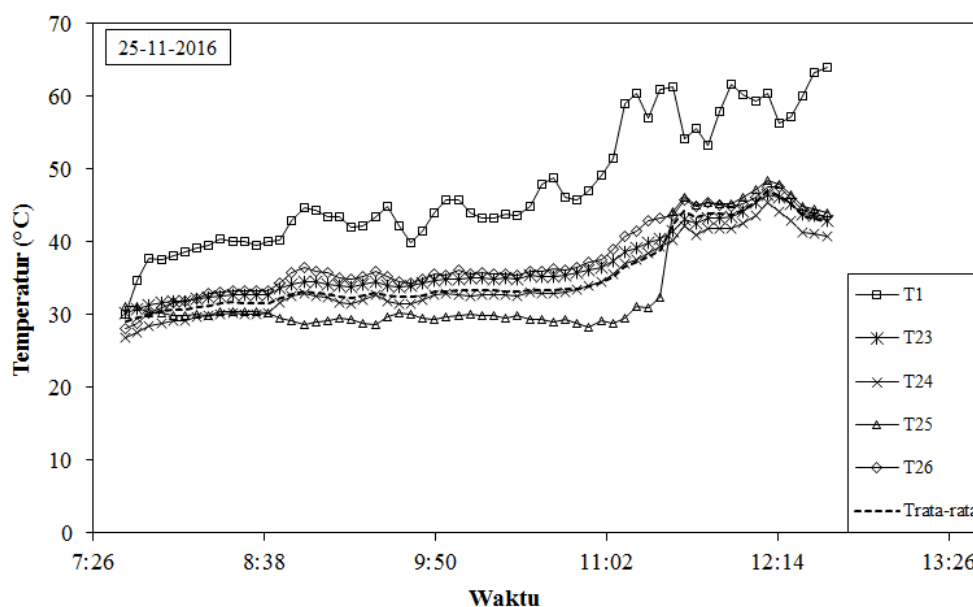
Tabel 4.6. Kecepatan pemanasan rata-rata PCM

Kecepatan pemanasan PCM				
Tanggal	Posisi termokopel		Kecepatan pemanasan	Kecepatan pemanasan rata-rata
	Depan	Belakang		
25-Nov-16	T5		0,1034	0,0782
	T7		0,0813	
	T9		0,0735	
		T6	0,1040	
		T8	0,0341	
		T10	0,073	
26-Nov-16	T5		0,1361	0,1228
	T7		0,1223	
	T9		0,1091	
		T6	0,1363	
		T8	0,123	
		T10	0,1097	
06-Des-16	T5		0,0103	0,0897
	T7		0,0879	
	T9		0,0737	
		T6	0,1041	
		T8	0,0891	
		T10	0,0796	

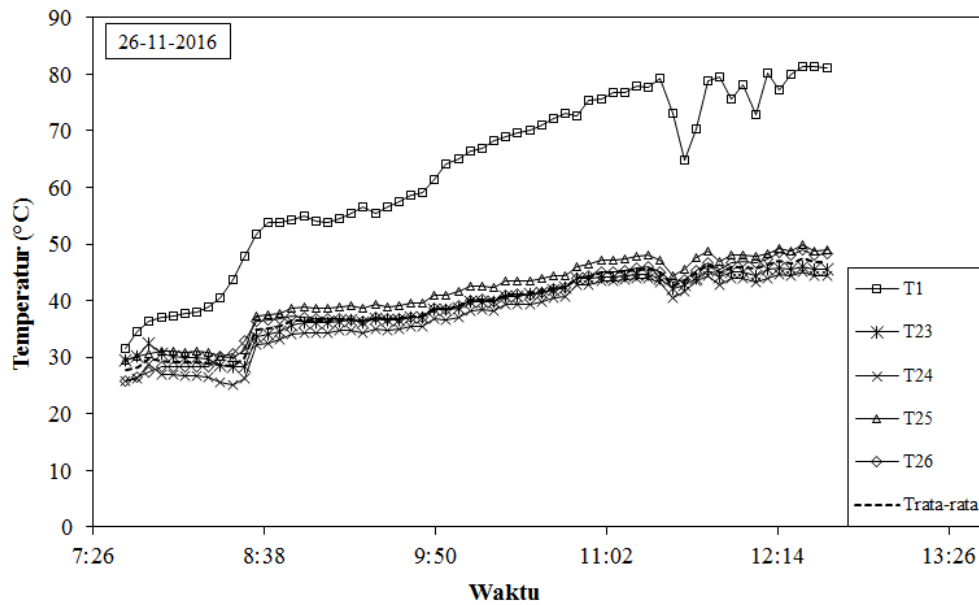
Pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, kecepatan pemanasan rata-rata HTF dan PCM tidak berbeda jauh. Hal ini dapat diartikan keseimbangan pertukaran kalor antara HTF dan PCM. Harga kecepatan yang terjadi umumnya rendah disebabkan energi termal yang diterima tidak menentu mengikuti intensitas radiasi yang diserap kolektor. Hasil pengujian dari ke-3 data pengujian tanggal 26 November 2016 memperoleh kecepatan pemanasan tertinggi baik HTF maupun PCM, hal tersebut disebabkan intensitas yang diterima pada pengujian tanggal 26 November 2016 adalah yang terbesar.

#### 4.2.5. Distribusi Temperatur Kolektor

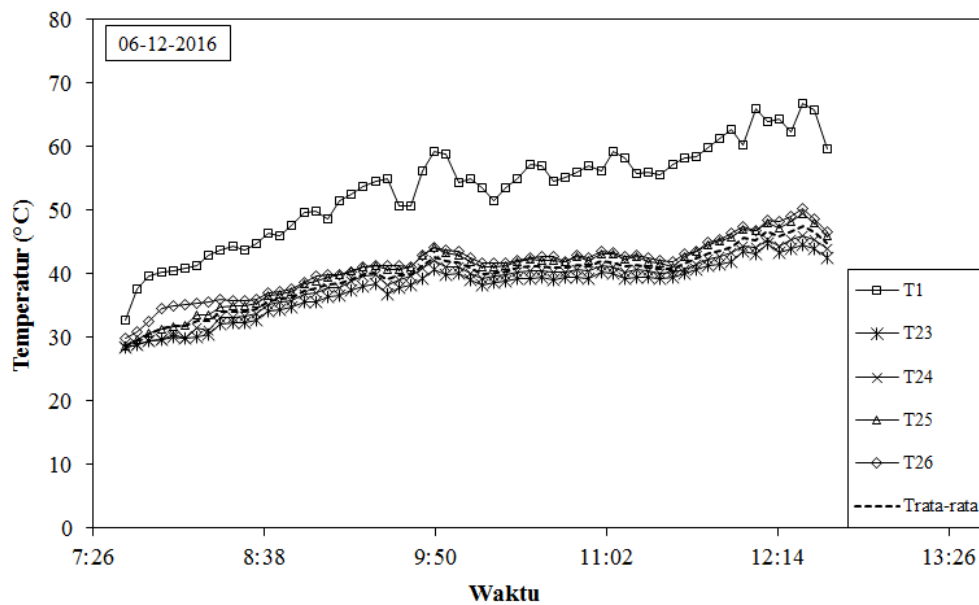
Kolektor pada sistem PATS berfungsi sebagai penangkap energi panas dari radiasi matahari untuk digunakan memanaskan HTF. Kemampuan penyerapan kalor pada kolektor merupakan faktor utama keberhasilan kinerja dari sistem PATS. Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut seberapa baik kinerja penyerapan kalor pada kolektor dengan memasang termokopel pada bagian permukaannya untuk mengetahui evolusi temperatur yang terjadi. Termokopel yang terpasang T23, T24, T25, dan T26 dipasang secara berurutan dari bawah keatas dengan jarak tiap termokopelnya 40cm. Grafik evolusi temperatur permukaan kolektor selama proses *charging* yang disajikan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.



Gambar 4.11. Evolusi temperatur permukaan kolektor tanggal 25 November 2016



Gambar 4.12. Evolusi temperatur permukaan kolektor tanggal 26 November 2016



Gambar 4.13. Evolusi temperatur permukaan kolektor tanggal 06 Desember 2016

Temperatur yang diterima tiap kolektor mengikuti letak termokopel terpasang. Termokopel yang berada paling atas menerima temperatur yang lebih tinggi, mengingat aliran air panas memiliki massa yang lebih ringan. Air yang bertemperatur lebih tinggi berada di bagian atas kolektor. Termokopel T<sub>1</sub>

dimasukkan di dalam grafik sebagai parameter untuk mengetahui hubungan temperatur HTF masuk ke dalam tangki dan temperatur HTF didalam kolektor. Termokopel T1 dipasang pada saluran masuk air dari kolektor menuju tangki.

Temperatur yang terbaca pada T1 lebih tinggi dibandingkan yang berada pada kolektor (T23,T24,T25,T26) dapat dilihat pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13. Posisi termokopel T1 yang berada pada saluran keluar dari kolektor menuju tangki berada diujung kolektor bagian atas seperti yang dapat terlihat pada Gambar 4.1. Memanfaatkan laju aliran *thermosyphon*, temperatur air yang melewati saluran keluar otomatis memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang berada pada kolektor.

Evolusi temperatur pada permukaan kolektor sejalan dengan intensitas radiasi yang diterima permukaan kolektor temperatur rata-rata tiap termokopel pada kolektor (T23, T24, T25, T26) selama proses *charging*. Pada pengujian tanggal 25 November 2016 rata-rata temperatur yang didapatkan selama proses *charging* sebesar 31,86°C, 30,02°C, 29,16°C, 32,65°C. Pada pengujian ke-2 tanggal 26 November 2016 didapatkan rata-rata temperatur 33,78°C, 32,30°C, 35,94°C, 34,31°C. Pada pengujian ke-3 tanggal 06 Desember 2016 rata-rata temperatur yang diterima selama proses *charging* 38,36°C, 39,37°C, 41,31°C, 41,97°C.

Berdasarkan Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 diketahui bahwa tingginya temperatur permukaan kolektor dipengaruhi oleh besarnya radiasi matahari. Temperatur permukaan kolektor yang tinggi menghasilkan temperatur air keluar kolektor yang besar.

#### 4.2.6 Efisiensi Pengumpulan Energi Kumulatif

Efisiensi pengumpulan energi merupakan hasil dari perbandingan jumlah kalor di dalam tangki terhadap intensitas radiasi yang diterima kolektor selama proses *charging* berlangsung. Untuk mendapatkan nilai efisiensi pengumpulan energi kumulatif perlu diketahui terlebih dulu nilai  $Q_{collect}$  kumulatif dan  $Q_{incident}$  kumulatif, yang dihasilkan dari penjumlahan nilai sesaat  $Q_{collect}$  dan  $Q_{incident}$ .

Contoh perhitungan digunakan data pada 5 menit awal pengujian tanggal 26 November 2016 berikut.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Luas kolektor (A}_c) &= 1,9 \text{ m}^2 \\ \text{Radiasi (I}_c) &= 143,1 \text{ W/m}^2 \\ \text{Volume tangki (V}_{\text{tank}}) &= 60 \text{ liter} \\ \text{Volume kapsul (V}_{\text{caps}}) &= 0,5067 \text{ liter} \times 24 = 12,1608 \text{ liter} \\ \text{Massa air (m}_w) &= V_{\text{tank}} - V_{\text{caps}} = 60 - 12,1608 = 47,8392 \text{ liter} \\ \text{Temperatur awal (T}_{w,1}) &= 26,98^\circ\text{C} \\ \text{Temperatur akhir (T}_{w,2}) &= 27,04^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Penyelesaian :

Menurut persamaan 2.7.

$$\eta = \frac{m_w c_{p,w} (T_{w,2} - T_{w,1})}{Q_{\text{incident}}} = \frac{m_w c_{p,w} (T_{w,2} - T_{w,1})}{A_c \int_1^2 I_c dt} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a. } Q_{\text{colect}} &= m_w C_{p,w} (T_{w,2} - T_{w,1}) \\ &= 47,8392 \text{ Kg} \times C_{p,w} \times (27,04^\circ\text{C} - 26,98^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{p,w}(T) &= 4.2174356 - 0.0056181625T + 0.0012992528T^{1.5} - \\ &0.0011535353T^2 - 0.000000414964T^{2.5} \end{aligned}$$

T adalah rata-rata temperatur termokopel

$$\begin{aligned} T &= (26,98^\circ\text{C} + 27,04^\circ\text{C})/2 \\ &= 27,01^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Jadi nilai  $C_{p,w}$  didapatkan

$$\begin{aligned} &= 4.2174356 - 0.0056181625(27,01) + 0.0012992528 (27,01)^{1.5} \\ &- 0.0011535353(27,01)^2 - 0.000000414964(27,01)^{2.5} \\ &= 4,1796 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{colect}} &= 47,8392 \text{ Kg} \times 4,1796 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (27,04^\circ\text{C} - 26,98^\circ\text{C}) \\ &= 12,57 \text{ kJ} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{b. } Q_{incident} &= A_c \int_1^2 I_c dt \\
 &= 1,9 \text{ m}^2 \times \int_1^2 143,1 \text{ W/m}^2 \left(\frac{60}{1000}\right) \\
 &= 16,31 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai efisiensi pengumpulan energi kumulatif yang harus dilakukan adalah dengan mengubah nilai sesaat dari  $Q_{colect}$  dan  $Q_{incident}$  menjadi nilai kumulatif dengan menambahkan data pada menit sebelumnya hingga menit yang digunakan.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan kumulatif

Waktu	$Q_{colect}$ (kJ)		$Q_{incident}$ (kJ)	
	Sesaat	Kumulatif	Sesaat	Kumulatif
07:36	0	0	12,6084	12,6084
07:37	21,1836	21,1836	12,7566	25,3650
07:38	-3,4260	17,7576	13,4634	38,8284
07:39	8,4044	26,1620	16,4616	55,2900
07:40	12,5766	38,7386	16,3134	71,6034

Pada tabel 4.7 didapatkan nilai kumulatif dari  $Q_{colect}$  dan  $Q_{incident}$

$$Q_{colect}(\text{kumulatif}) = 38,7386 \text{ kJ}$$

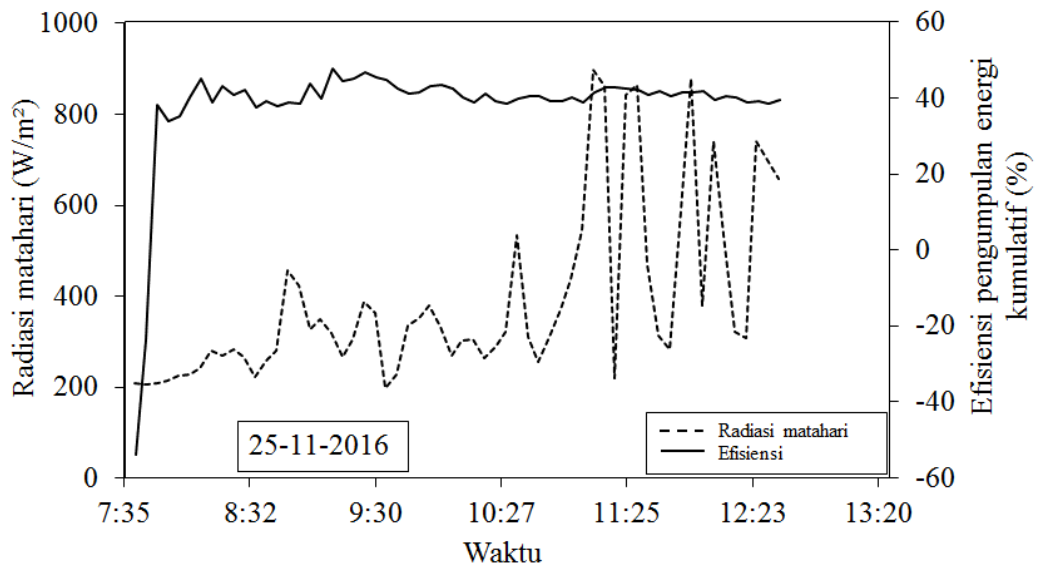
$$Q_{incident}(\text{kumulatif}) = 71,6034 \text{ kJ}$$

Dapat dihitung

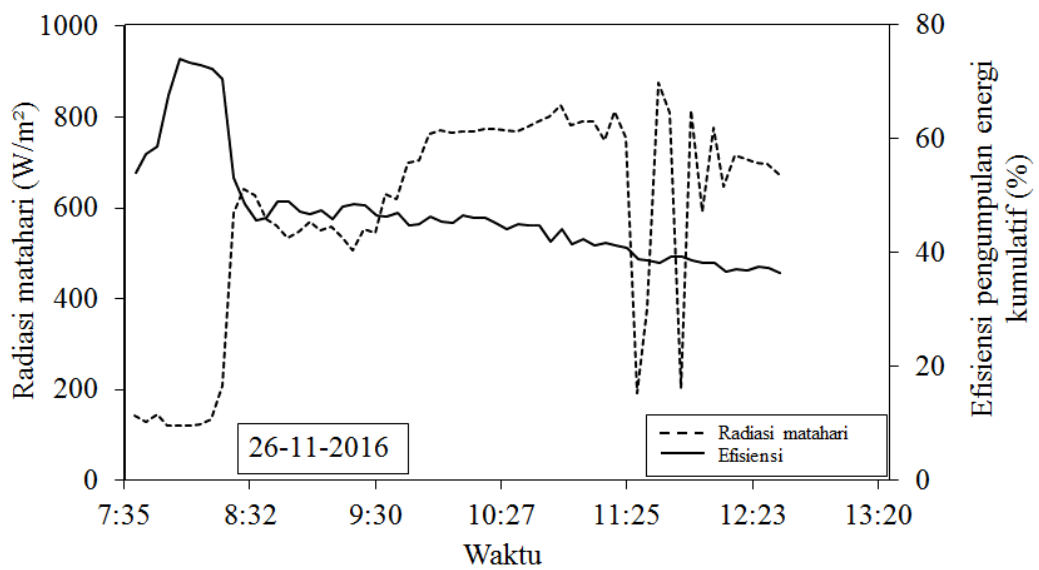
$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Q_{colect}}{Q_{incident}} \times 100\% \\
 &= \frac{38,7386 \text{ kJ}}{71,6034 \text{ kJ}} \times 100\% \\
 &= 54,10\%
 \end{aligned}$$

Jadi efisiensi pengumpulan energi kumulatif yang diperoleh pada 5 menit data pengujian adalah 54,10%.

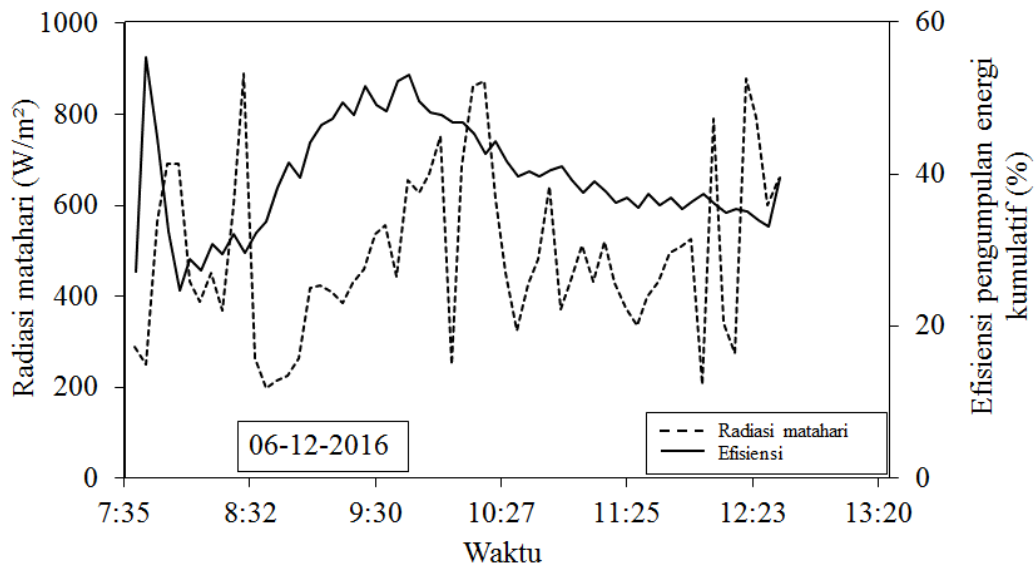
Berikut grafik efisiensi pengumpulan energi kumulatif dari ke-3 pengujian disajikan dengan Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16.



Gambar 4.14. Efisiensi pengumpulan energi kumulatif tanggal 25 November 2016



Gambar 4.15. Efisiensi pengumpulan energi kumulatif tanggal 26 November 2016



Gambar 4.16. Efisiensi pengumpulan energi kumulatif tanggal 06 Desember 2016

Peningkatan efisiensi sejalan dengan intensitas radiasi matahari yang diterima dari ke-3 pengujian selama proses *charging*, *fluktuasi* dari intensitas radiasi yang terjadi secara *signifikan*, mengakibatkan penurunan efisiensi secara bertahap.

Dari ke-3 grafik pengujian, lonjakan efisiensi pada menit awal sangat tinggi. Disebabkan temperatur awal HTF pada awal *charging* rendah, kemudian saat air panas dari kolektor masuk dengan temperatur yang tinggi. Hal tersebut yang mengakibatkan kalor sensibel yang dihasilkan menjadi besar, mengingat tingginya perbedaan temperatur yang terjadi.

Rata-rata efisiensi pengumpulan energi kumulatif yang didapatkan pada pengujian 25 November 2016 sebesar 36,90%, berikutnya pengujian tanggal 26 november 2016 sebesar 46,54%, yang terakhir pengujian tanggal 06 Desember 2016 memperoleh efisiensi sebesar 38,80%. Nilai tersebut menyatakan jumlah rata-rata energi matahari yang diterima air didalam TES kemudian disimpan dalam bentuk energi termal.

Pengujian pertama tanggal 25 November 2016 efisiensi mencapai angka minus, karena temperatur awal air lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur akhir, sehingga mempengaruhi perhitungan pada energi yang dikumpulkan ( $Q_{collect}$ ).

Pengujian ke-2 tanggal 26 November 2016 mendapatkan efisiensi tertinggi jika dibandingkan pengujian pertama dan ke-3 hal tersebut disebabkan intensitas radiasi matahari yang diterima lebih besar. Dapat disimpulkan dari hasil pemaparan data diatas besarnya efisiensi yang diperoleh mengindikasikan sistem kerja PATS bekerja dengan baik.