

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan hasil dan pembahasan didapat dari data yang diambil saat proses *charging*. Penelitian yang dilakukan dalam beberapa variasi *heat flux* yaitu 800, 1000 dan 1200 W/m² menggunakan *solar simulator*, dengan debit 2 LPM. Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan berupa:

1. Pengujian *solar simulator*.
2. Kalibrasi termokopel.
3. Evolusi temperatur rata-rata HTF.
4. Evolusi temperatur rata-rata PCM.
5. Perbandingan evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM.

4.1. Pengujian *Solar Simulator*

Penelitian ini menggunakan *solar simulator* sebagai alat pengganti radiasi matahari. Hasil uji *solar simulator* dengan variasi ketinggian dan titik penempatan *pyranometer* disajikan Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Hasil pengujian *solar simulator*

Posisi	Jarak (cm)			
	10	15	20	22
	Intensitas Radiasi (W/m ²)			
A	1256,00	1276,90	1093,12	920,78
B	1110,53	975,81	767,88	705,67
C	1235,01	936,16	761,18	715,67
D	1276,90	1072,60	854,24	767,77
E	1276,90	1007,52	1005,51	814,34
F	1276,90	1080,13	964,54	781,87
Rata-rata	1238,71	1058,19	907,75	784,35

4.2. Kalibrasi Termokopel

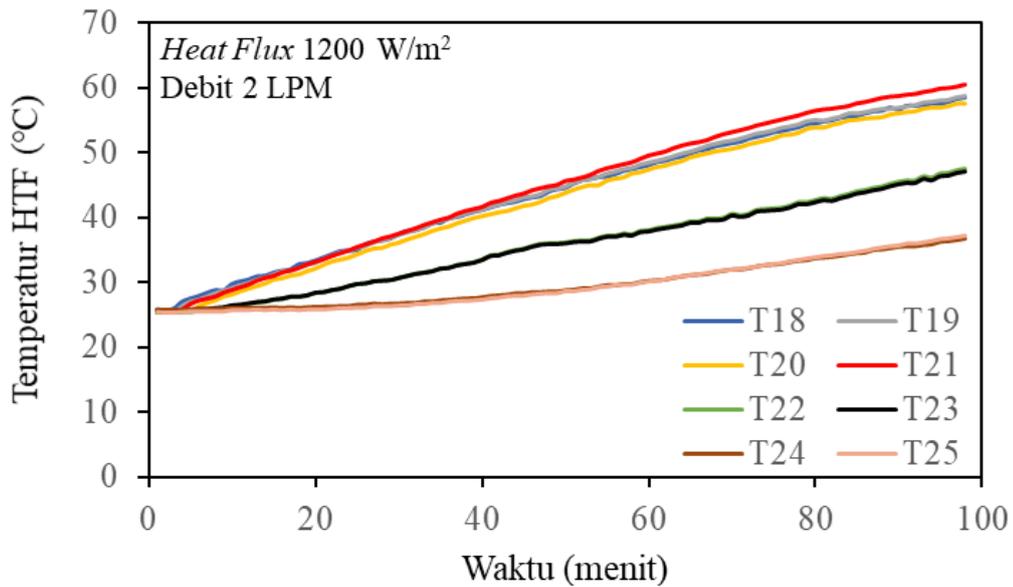
Penelitian dilakukan dengan menggunakan termokopel berjumlah 25 buah, yang akan dipasang pada sisi HTF dan sisi PCM. Hasil dari kalibrasi yang dilakukan menunjukkan hasil yang baik, karena R^2 mendekati 1. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Hasil kalibrasi termokopel

No.	Termokopel	Posisi	Persamaan regresi	R^2
1	T1	Masuk tangki	$T1_{,riil} = 0,9774 T1 + 0,1469$	0.9998
2	T2	Keluar tangki	$T2_{,riil} = 1,0144 T2 - 0,6655$	0.9998
3	T3	PCM	$T3_{,riil} = 0,9967 T3 + 0,0098$	0.9998
4	T4	PCM	$T4_{,riil} = 1,0251 T4 - 0,804$	0.9994
5	T5	PCM	$T5_{,riil} = 1,0143 T5 - 0,439$	0.9998
6	T6	PCM	$T6_{,riil} = 1,0132 T6 - 0,5569$	0.9998
7	T7	PCM	$T7_{,riil} = 1,0227 T7 - 0,7533$	0.9997
8	T8	PCM	$T8_{,riil} = 1,0107 T8 - 0,4224$	0.9998
9	T9	PCM	$T9_{,riil} = 1,0167 T9 - 0,3646$	0.9998
10	T10	PCM	$T10_{,riil} = 1,0122 T10 - 0,3933$	0.9998
11	T11	PCM	$T11_{,riil} = 1,0197 T11 - 0,7239$	0.9997
12	T12	PCM	$T12_{,riil} = 0,9768 T12 + 0,3779$	0.9998
13	T13	PCM	$T13_{,riil} = 0,8894 T13 + 7,2856$	0.9886
14	T14	PCM	$T14_{,riil} = 0,9961 T14 - 0,3531$	0.9998
15	T15	PCM	$T15_{,riil} = 1,0016 T15 - 0,5101$	0.9998
16	T16	PCM	$T16_{,riil} = 0,9778 T16 - 0,0113$	0.9998
17	T17	PCM	$T17_{,riil} = 0,9971 T17 - 0,4548$	0.9998
18	T18	HTF	$T18_{,riil} = 0,9773 T18 + 0,307$	0.9998
19	T19	HTF	$T19_{,riil} = 0,9957 T19 - 0,4572$	0.9998
20	T20	HTF	$T20_{,riil} = 0,9977 T20 - 0,5418$	0.9998
21	T21	HTF	$T21_{,riil} = 1,0297 T21 - 1,4005$	0.9998
22	T22	HTF	$T22_{,riil} = 1,0485 T22 - 1,9455$	0.9998
23	T23	HTF	$T23_{,riil} = 1,0256 T23 - 1,2854$	0.9998
24	T24	HTF	$T24_{,riil} = 0,9776 T24 + 0,3607$	0.9998
25	T25	HTF	$T25_{,riil} = 0,9982 T25 - 0,2378$	0.9998

4.3. Evolusi temperatur rata-rata HTF

Perubahan temperatur HTF pada variasi *heat flux* 1200 W/m² direkam memakai 8 titik termokopel yang tersebar di dalam tangki. Hasil evolusi temperatur HTF pada variasi *heat flux* 1200 W/m² disajikan pada Gambar 4.1.

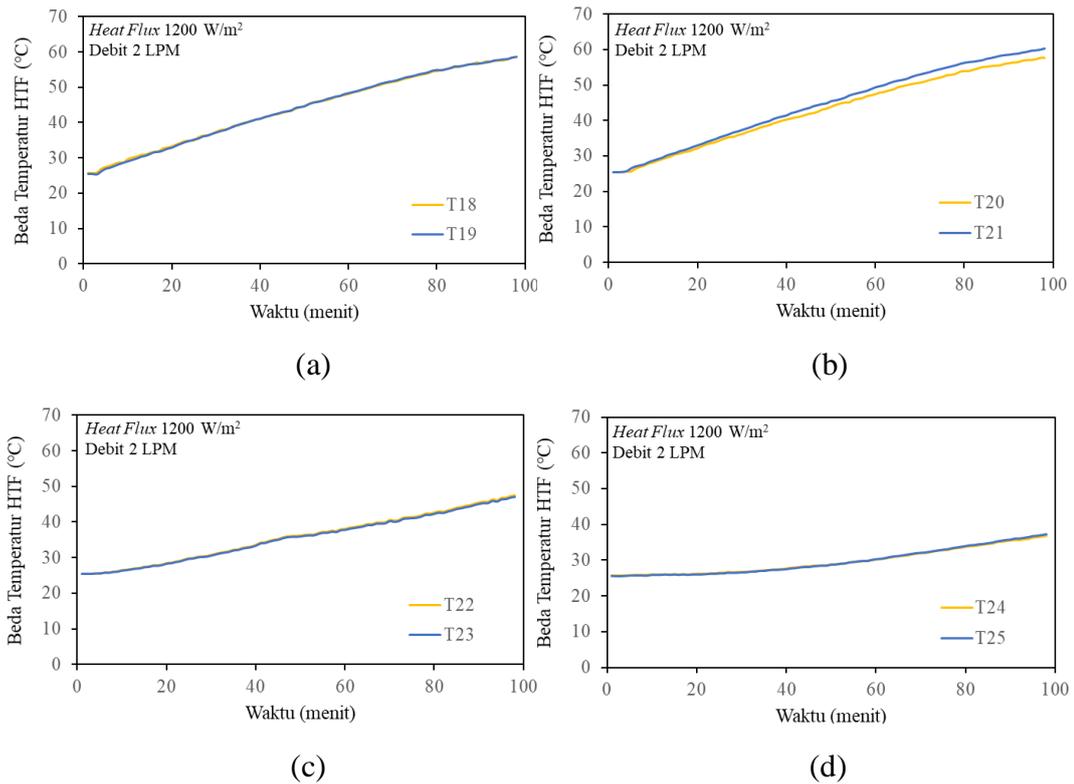


Gambar 4. 1. Evolusi temperatur HTF tiap-tiap termokopel

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa temperatur awal pada semua termokopel tidak terdapat perbedaan drastis. Kenaikan temperatur selama proses *charging* yang berlangsung 98 menit terlihat konstan. Karena dari awal sampai akhir pengujian tidak terdapat lonjakan suhu yang drastis. Hal tersebut dikarenakan *heat flux* konstan yang diberikan *solar simulator*. Pengujian saat menit ke-60 T21 mencapai temperatur 49,4 °C, T22 mencapai 38,2 °C, dan T24 mencapai 30,5 °C. Selama proses *charging* berlangsung T21 memiliki temperatur tertinggi, hal ini dipengaruhi oleh letak termokopel yang berada paling dekat dengan saluran input tangki yang berasal dari kolektor. Kenaikan temperatur pada T24 menjadi yang terendah, karena letak termokopel berada di paling bawah dalam tangki, dan jauh dari input tangki.

Gambar 4.1 menunjukkan temperatur tidak mengalami fluktuasi yang signifikan, jika dibandingkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nadjib dkk (2015) yang berfluktuasi. Hal ini disebabkan pada penelitian ini, menggunakan *solar simulator* sebagai sumber kalor pada kolektor sehingga kalor yang diberikan konstan. Penelitian sebelumnya menggunakan matahari sebagai sumber energi kalor, karena radiasi yang dihasilkan berubah-ubah menyebabkan energi termal yang diserap kolektor juga naik-turun menjadikan temperatur HTF di tangki berfluktuasi.

Gambar 4.2 menunjukkan evolusi temperatur termokopel HTF di dalam tangki TES. Jumlah termokopel yang dipakai adalah 8 buah. Letak pemasangan termokopel terhadap dasar tangki adalah dengan jarak 1 cm, 9 cm, 17 cm dan 25 cm. Tiap lokasi ketinggian tersebut terpasang 2 buah termokopel.

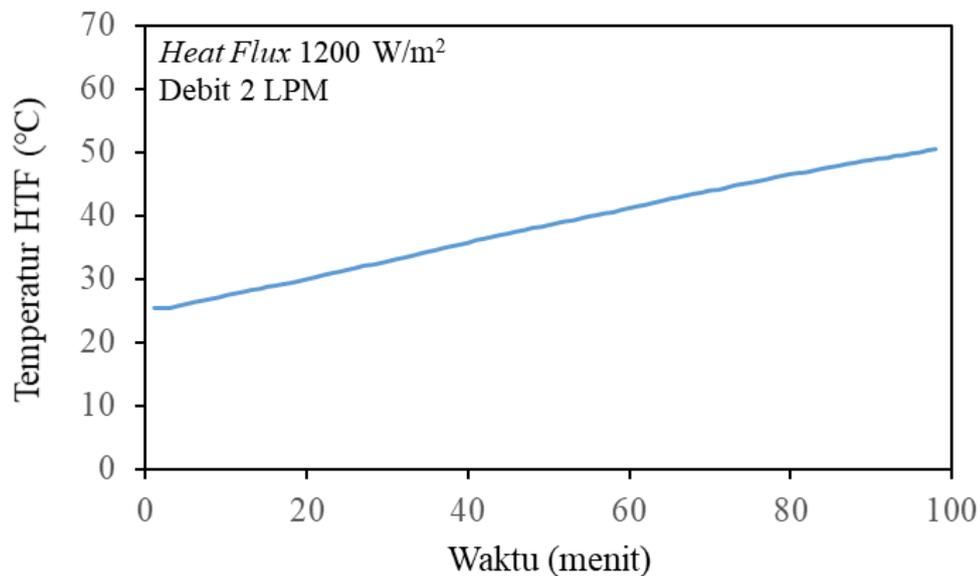


Gambar 4. 2. Evolusi temperatur pada termokopel
 (a) lapis 25cm (b) lapis 17cm (c) lapis 9cm
 (d) lapis 1cm

Gambar 4.2 menunjukkan semua kurva mengalami kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan selama proses *charging* air yang berfungsi sebagai HTF yang berada di dalam tangki menerima *transfer* kalor dari kolektor. Kenaikan kurva pada setiap lapisnya cukup bagus karena temperatur naik secara konstan dan tidak terjadi fluktuasi. Setiap lapis, kedua termokopel memiliki kenaikan temperatur yang berbeda dan saling berhimpitan, tetapi termokopel pada angka ganjil memiliki temperatur yang lebih tinggi dari temperatur termokopel angka genap. Karena posisi termokopel dengan angka ganjil terletak dekat dengan saluran input tangki, sedangkan termokopel dengan angka genap terletak jauh dari saluran input tangki.

Berdasarkan Gambar 4.2 perbedaan kenaikan temperatur yang besar terdapat pada grafik lapis 17cm. Hal ini di pengaruhi karena posisi lapis ini sejajar dengan saluran input tangki. Kurva pada grafik lapis 1cm mengalami kenaikan temperatur yang paling rendah dikarenakan posisi lapis ini berada di bagian paling bawah dalam tangki.

Hasil pengujian pada variasi *heat flux* 1200 W/m² dengan debit 2 LPM, terdapat kecepatan pemanasan rata-rata HTF, yaitu kecepatan pemanasan yang terjadi selama proses *charging*. Hasil temperatur rata-rata HTF seperti yang ditunjukkan Gambar 4.3.

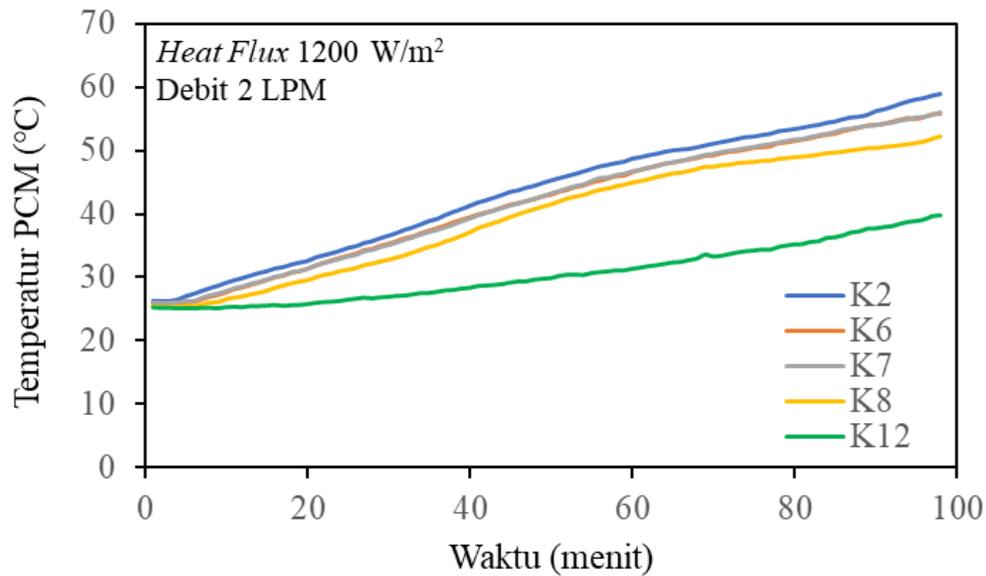


Gambar 4. 3. Evolusi temperatur rata-rata HTF *heat flux* 1200 W/m²

Temperatur rata-rata HTF selama proses *charging* mengalami kenaikan yang konstan dan tidak terjadi lonjakan yang drastis. Evolusi temperatur rata-rata HTF pada variasi *heat flux* 1200 W/m² dengan debit 2 LPM memiliki kecepatan pemanasan rata-rata sebesar 0,257 °C/min.

4.4. Evolusi Temperatur Rata-Rata PCM.

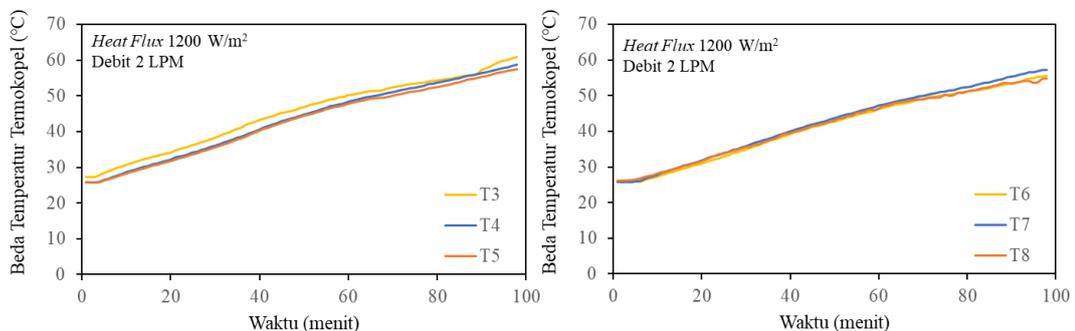
Perubahan temperatur yang terjadi pada PCM dengan variasi 1200 W/m² perlu dilakukan pengamatan. Pengamatan dilakukan di 15 titik termokopel yang tersebar pada kapsul di dalam tangki. Hasil evolusi temperatur PCM pada variasi *heat flux* 1200 W/m² dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4. Evolusi temperatur PCM masing-masing kapsul

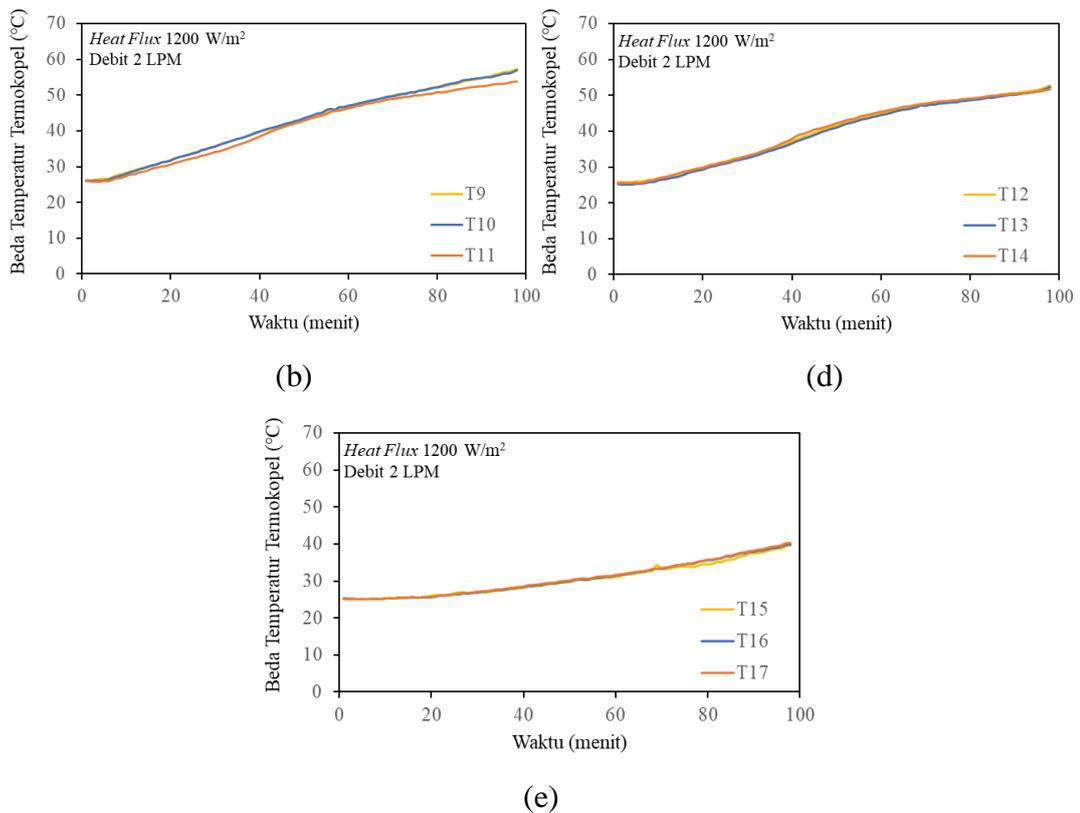
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semua kapsul, kurvanya mengalami kenaikan temperatur. Kenaikan tertinggi terdapat pada kapsul 2, hal tersebut dikarenakan posisi kapsul 2 berada paling atas dalam tangki. Kenaikan terendah terdapat pada kapsul 12, karena letaknya berada paling bawah dalam tangki. Hal tersebut juga dipengaruhi karena PCM di dalam kapsul mendapat transfer kalor dari HTF, sehingga semua temperatur mengalami kenaikan kurva.

Gambar 4.5 menunjukkan evolusi temperatur termokopel PCM di dalam tangki TES. Jumlah termokopel adalah 15 buah. Letak pemasangan termokopel terbagi pada beberapa kapsul yaitu, kapsul 2, kapsul 6, kapsul 7, kapsul 8 dan kapsul 12. Tiap kapsul tersebut terpasang 3 buah termokopel.



(a)

(b)

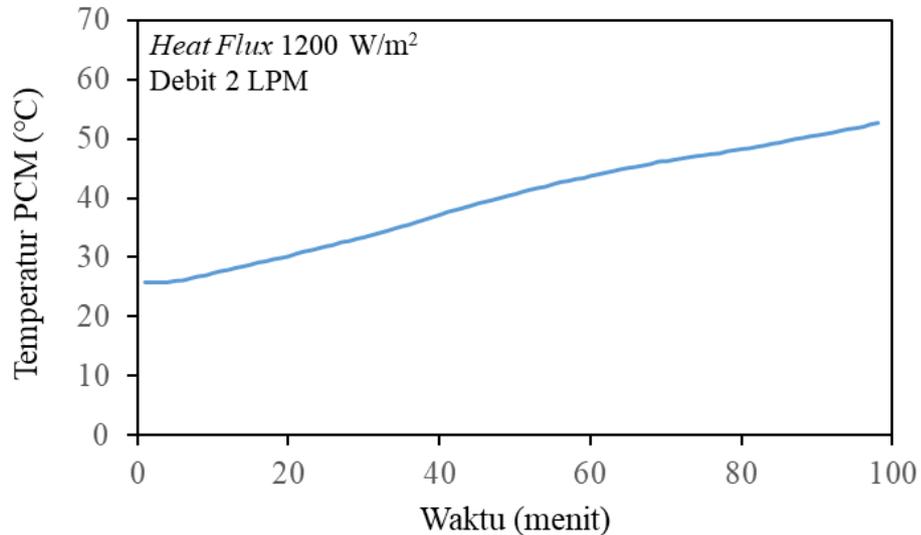


Gambar 4. 5. Evolusi temperatur kapsul 12
 (a) kapsul 2 (b) kapsul 6 (c) kapsul 7 (d) kapsul 8 (e) kapsul 12

Hasil evolusi temperatur pada tiap-tiap kapsul menunjukkan kurva mengalami kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan selama proses *charging paraffin wax* yang berada di dalam kapsul mampu menerima *transfer* kalor dari HTF dengan baik. Kenaikan kurva pada semua kapsul cenderung bagus, dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa setiap kapsul tidak terjadi fluktuasi. Berdasarkan Gambar 4.5 kenaikan temperatur yang besar terdapat pada grafik kapsul 2. Hal ini di pengaruhi karena posisi kapsul 2 ini terletak bagian paling atas dalam tangki. Hal sebaliknya terjadi pada grafik kapsul 12 yang mengalami kenaikan temperatur yang paling rendah dikarenakan posisinya berada di bagian paling bawah dalam tangki. Perbedaan kenaikan temperatur juga terjadi pada tiap-tiap kasul, dikarenakan letak kapsul yang berbeda-beda di dalam tangki.

Hasil evolusi temperatur PCM pada pengujian menggunakan variasi *heat flux* 1200 W/m² dengan debit 2 LPM, terdapat kecepatan pemanasan rata-rata PCM,

yaitu kecepatan pemanasan yang terjadi selama proses *charging*. Hasil temperatur rata-rata PCM seperti pada Gambar 4.6.

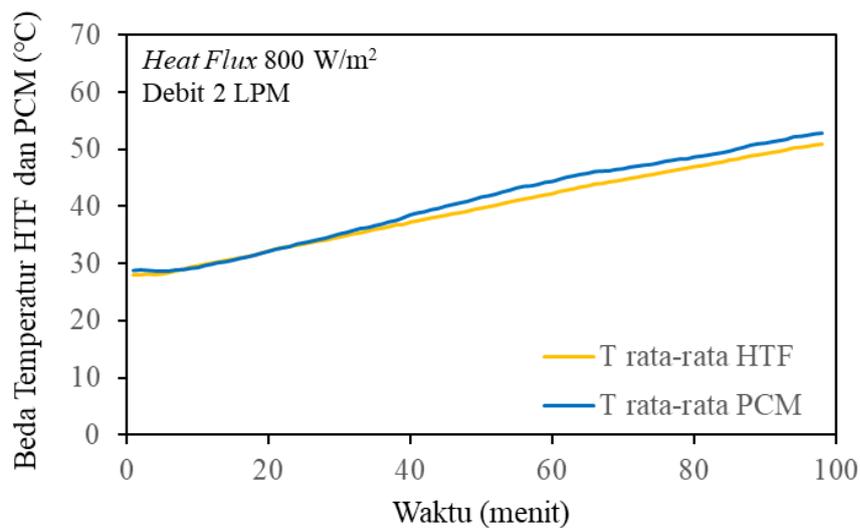


Gambar 4. 6. Evolusi temperatur rata-rata PCM *heat flux* 1200 W/m²

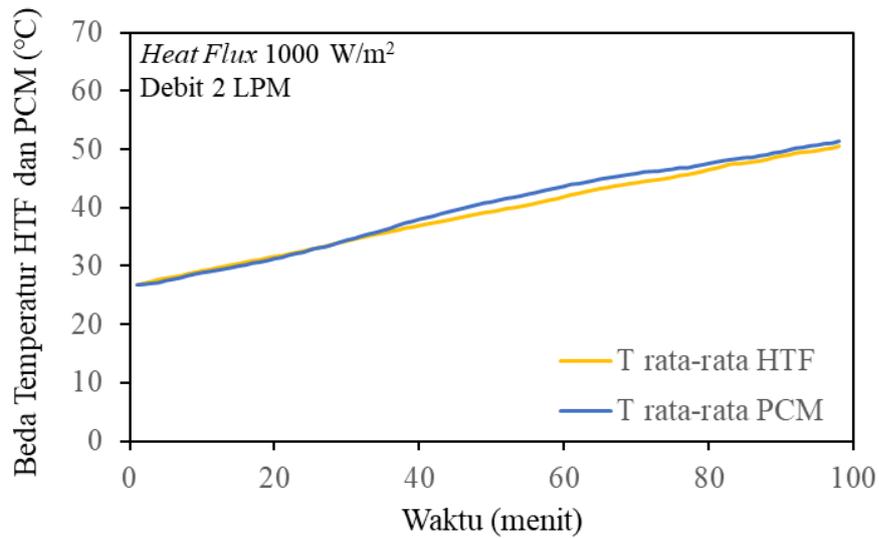
Kurva mengalami kenaikan temperatur cukup bagus selama proses *charging*. Evolusi temperatur rata-rata PCM pada variasi *heat flux* 1200 W/m² dengan debit 2 LPM memiliki kecepatan pemanasan rata-rata sebesar 0,280 °C/min.

4.5. Perbandingan Evolusi Temperatur Rata-Rata HTF Dan PCM.

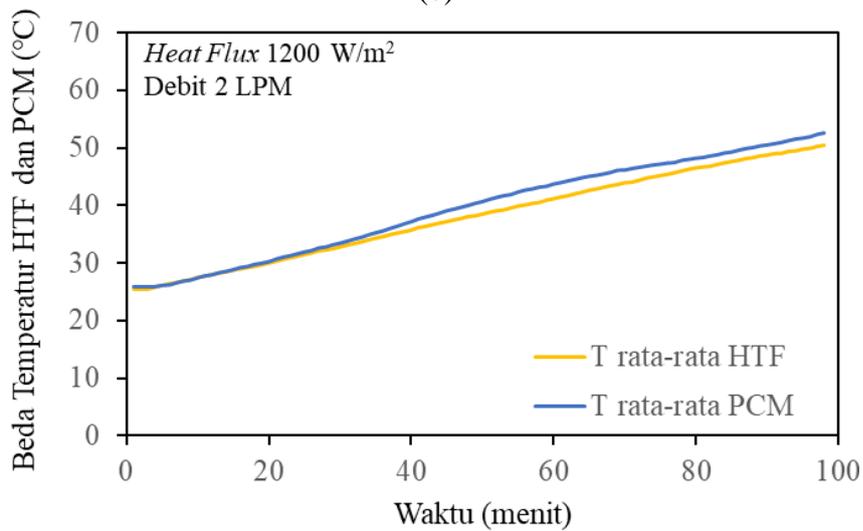
Gambar 4.7 menunjukkan perbedaan evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM menggunakan variasi *heat flux* 800, 1000, dan 1200 W/m² dengan debit 2 LPM.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 7. Evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM variasi *heat flux* (a) 800 W/m² (b) 1000 W/m² (c) 1200 W/m²

Berdasarkan dari ketiga grafik menunjukkan bahwa kurva mengalami kenaikan suhu seiring bertambahnya waktu, hal tersebut terjadi karena air yang berfungsi sebagai HTF menyerap kalor dari kolektor, sehingga HTF mengalami kenaikan suhu. Terjadinya kenaikan suhu pada HTF maka terjadi *transfer* kalor dari HTF ke PCM. Gambar 4.7 menunjukkan pada variasi 800 W/m² temperatur PCM lebih tinggi dari HTF terjadi di menit 25, sedangkan variasi 1200 W/m² temperatur PCM lebih tinggi dari HTF pada menit 20. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar variasi *heat flux*, maka semakin cepat temperatur PCM lebih tinggi dari HTF.

Gambar 4.7 menunjukkan ketiga variasi *heat flux* memiliki kecepatan pemanasan rata-rata PCM dan HTF yang berbeda. Kecepatan pemanasan rata-rata pada variasi *heat flux* 800 W/m² pada PCM 0,247 dan HTF 0,236, variasi *heat flux* 1000 W/m² pada PCM 0,254 dan HTF 0,244, sedangkan variasi *heat flux* 1200 W/m² pada PCM 0,280 dan HTF 0,257. Oleh karena itu semakin besar variasi *heat flux* maka kecepatan pemanasan rata-rata PCM dan HTF semakin cepat.

Temperatur HTF dan PCM memiliki kurva yang berhimpitan, menunjukkan bahwa PCM berfungsi dengan baik, dimana PCM telah mampu menyimpan kalor yang diterima dari HTF.