

BAB IV

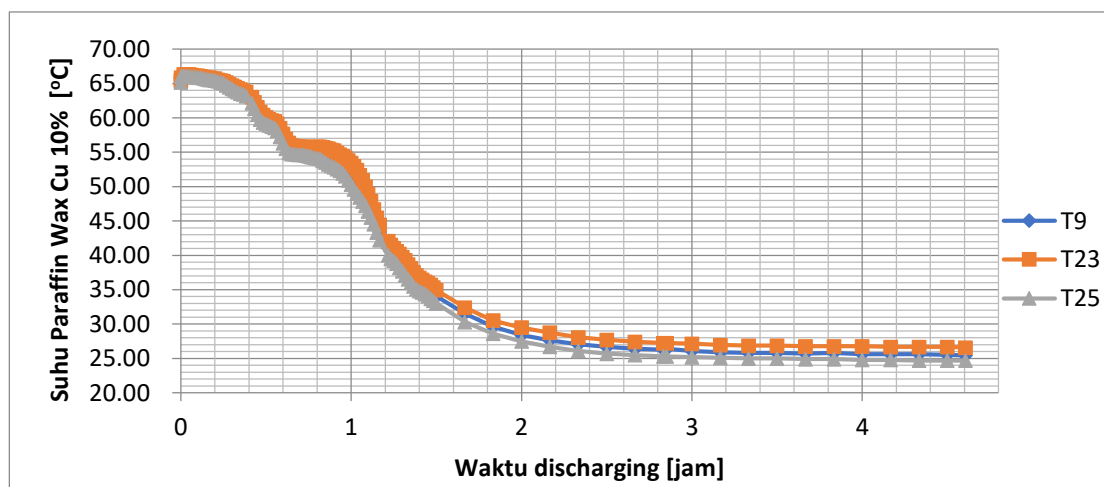
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 1 LPM

Penelitian laju pelepasan kalor yang terjadi dari PCM ke HTF perlu dilakukan pengamatan pelepasan temperatur PCM arah aksial, arah vertikal, dan arah horisontal yang ada di dalam tangki TES. Hasil pengamatan yang dilihat dari 26 titik termokopel yang tersebar dengan posisi Gambar 3.11 dan dilakukan dengan variasi laju aliran 1 LPM, 1.5 LPM, 2 LPM, dan 2.5 LPM pada proses *discharging* bertahap. Proses pengambilan data menggunakan *discharging* bertahap atau setiap lima menit aliran air dihidupkan dan lima menit dimatikan seterusnya sampai suhu pada T32 mencapai 35°C. Laju pelepasan temperatur variasi 1 LPM relatif lebih lama daripada variasi lainnya karena menggunakan debit air paling kecil dan selesai pengambilan data mencapai 4,5 jam.

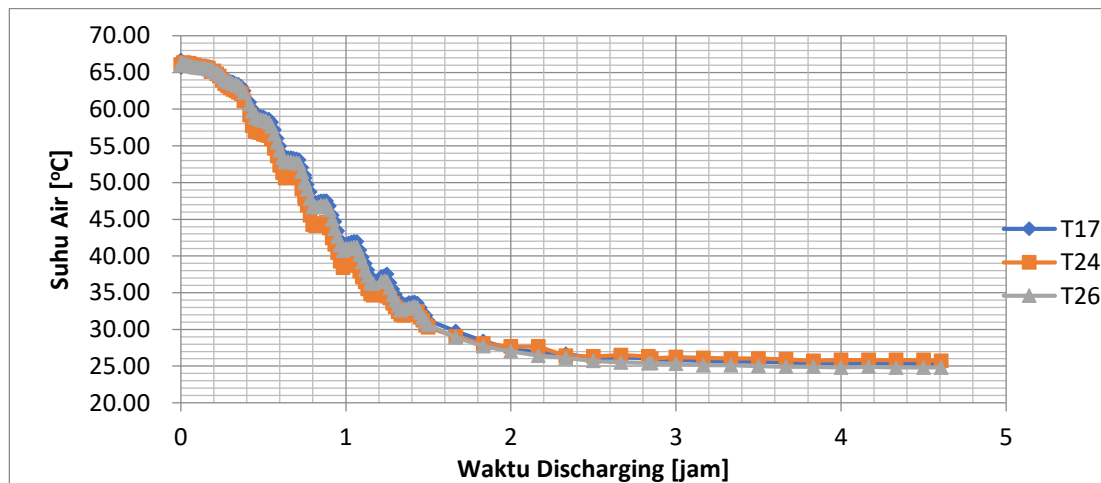
4.1.1. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.1 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,6-0,9 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55 °C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup. Setelah 1 jam pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid saat suhu mencapai 52,86 °C.



Gambar 4.2 Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

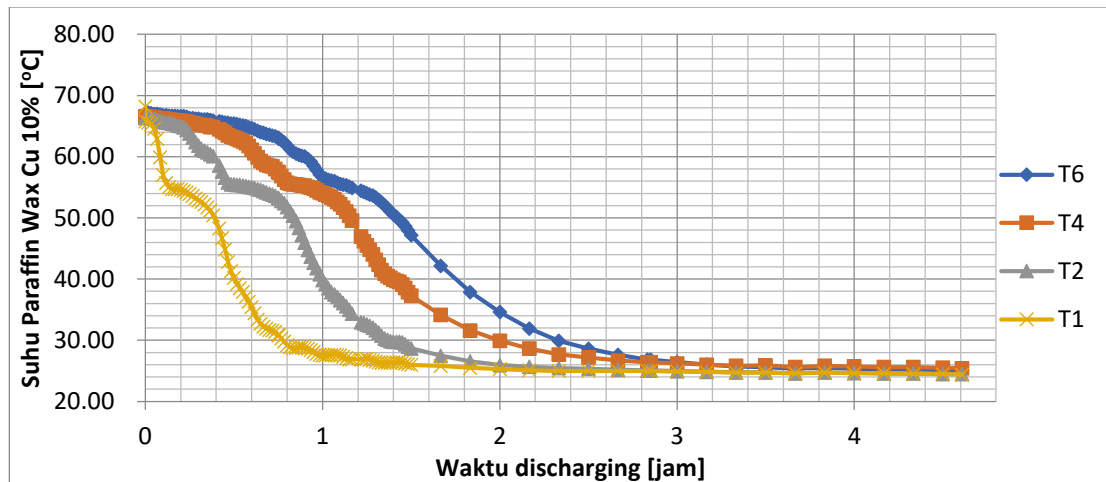
Grafik pada gambar 4.2 aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-rata mengalami kenaikan 1-2 °C pada waktu 0,6-1,4 jam dan setelah waktu 3-4,6 jam suhu dalam tangki konstan pada 25 °C mengikuti suhu dari air kran.

Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,5 jam mengalami grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah dari 1,5 jam suhu dalam pipa cenderung lebih stabil tidak mengalami kenaikan karena *paraffin wax Cu 10%* berat sudah berubah fasa menjadi solid sempurna. Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,5 jam tidak mengalami

perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil sehingga turbulen aliran air pun kecil. Maka dari itu semakin besar debit yang dipakai maka turbulen aliran air pun semakin besar dan membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

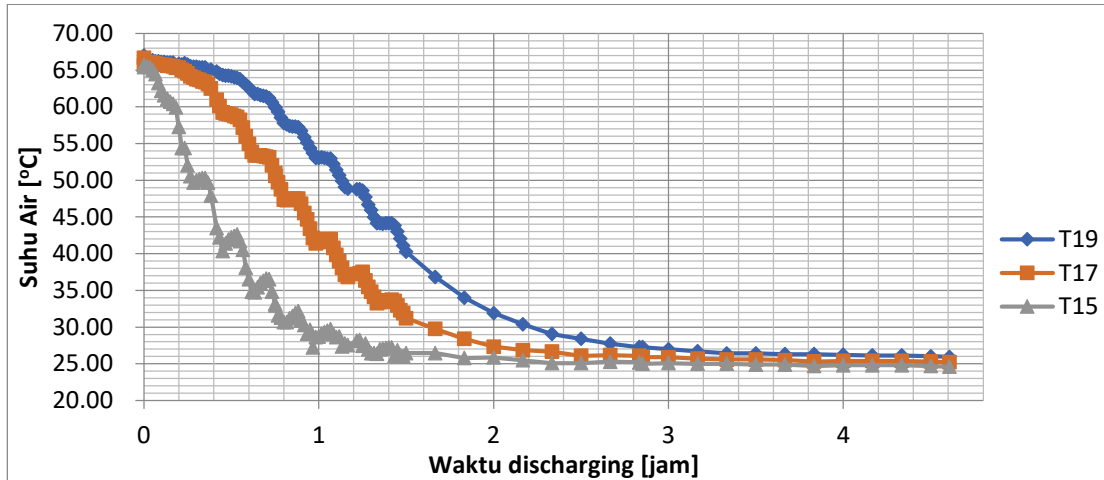
4.1.2. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.3 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.3. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 11 °C, suhu T4 berkisar 14 °C, suhu T2 berkisar 26 °C, dan suhu T1 pada 0-1 jam berkisar 38 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama satu jam.

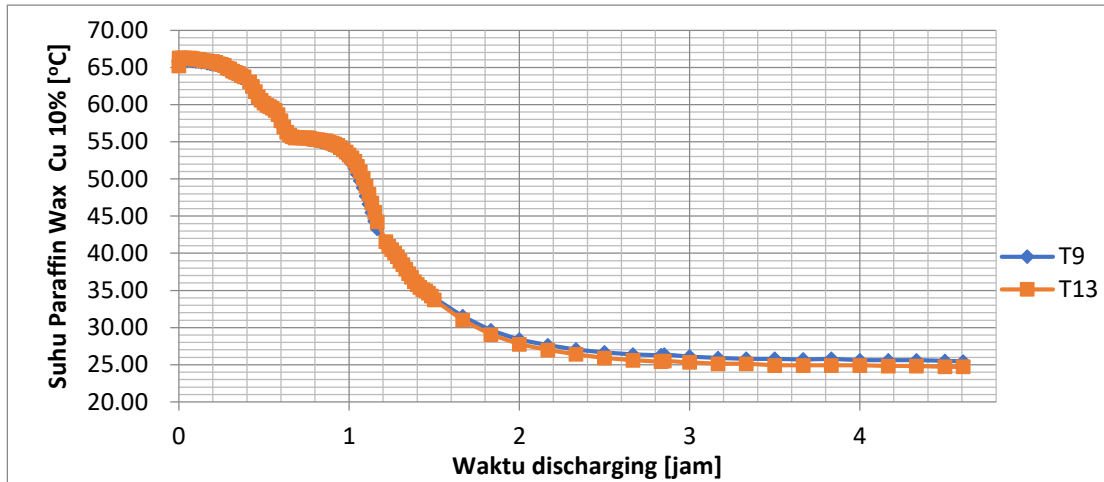


Gambar 4.4 Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.4. Rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-1 jam berkisar 14 °C, suhu T17 berkisar 25 °C, dan suhu T15 pada 0-1 jam berkisar 39 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

4.1.3. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

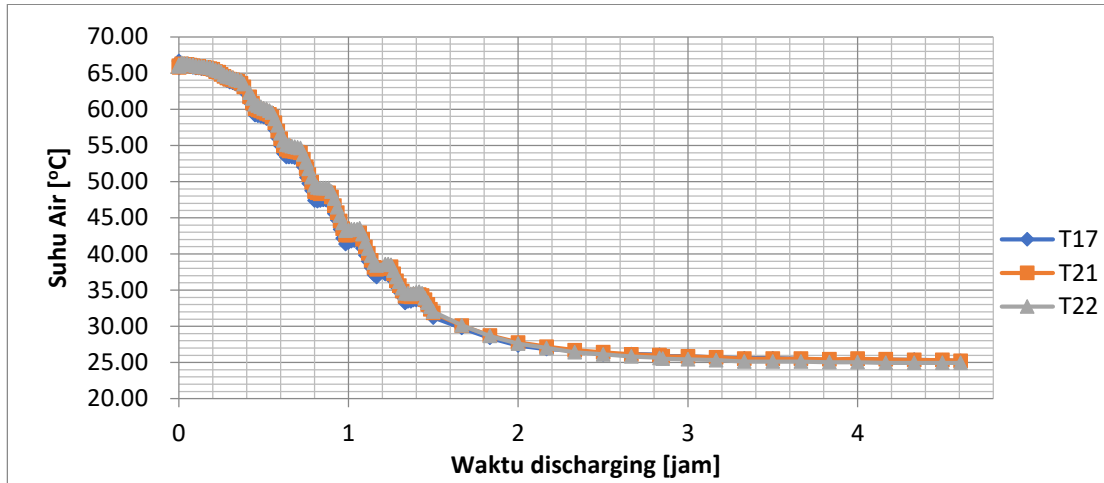
Hasil setelah pengujian pada variasi 1 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.5 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horizontal

Suhu pada kedua termokopel dari 0-1 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1 °C dapat dilihat pada gambar 4.5. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-1,5 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 1,5-4,5 jam T9 lebih tinggi dari T13. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,6-0,9 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 56°C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup.



Gambar 4.6 Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal

Grafik pada gambar 4.6 horizontal air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horizontal *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Kenaikan suhu terjadi dari 0,6-1,4 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan dan penurunan suhu stabil sampai selesai pengujian.

Suhu pada ketiga termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 2°C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

4.1.4. Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses *discharging* dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1.

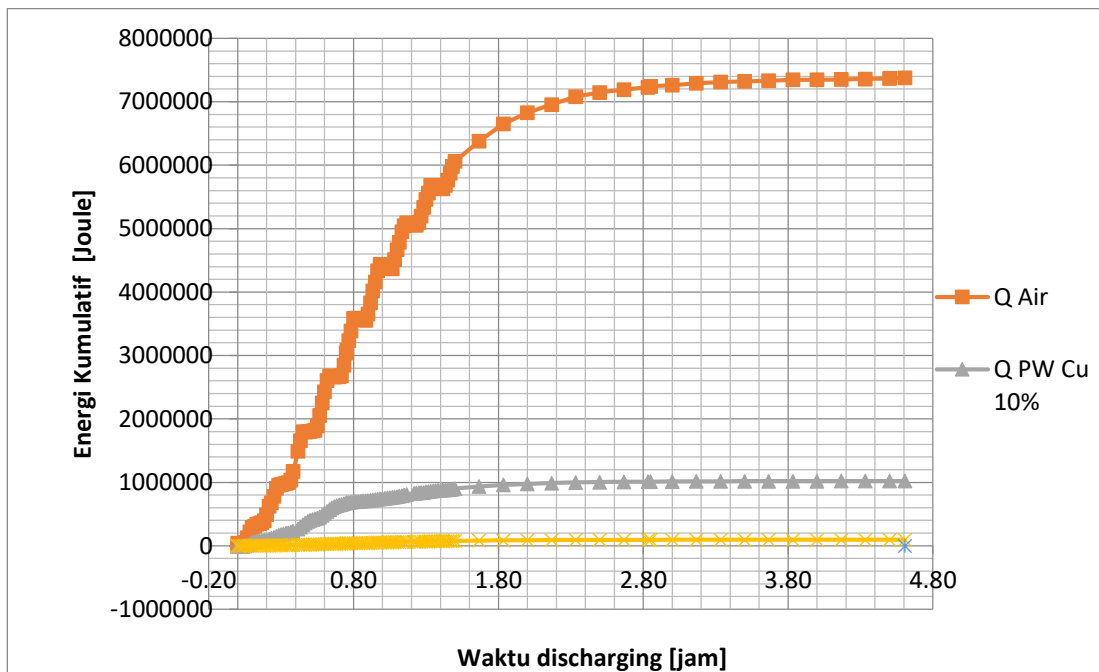
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (66.17 - 25.25)$$

$$Q_{kum} = 7,377,020.99 \text{ J}$$

Tabel 4.1 Energi Kumulatif 1 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]	[kg]	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	(J)
Air	4180	43.13	66.17	25.25	40.92	7,377,020.99
Pipa Cu	390	5.91	66.72	24.90	41.83	96,338.79
PW+10%Cu	1839	6.7	66.14	25.05	41.09	1,029,378.78



Gambar 4.7 Grafik Energi Kumulatif

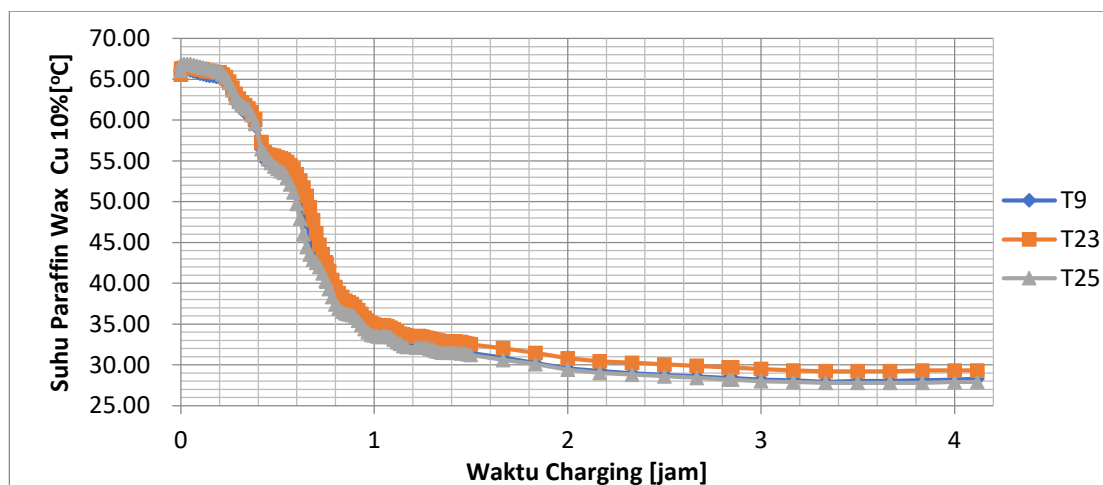
Grafik pada gambar 4.7 Q pipa Cu lebih rendah dari air dan *paraffin wax Cu* disebabkan nilai Cp yang rendah yaitu 390 J/kg.K, sedangkan nilai Cp air 4180 J/kg.K dan Cp *Paraffin Wax Cu* 10% 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax Cu* 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,6 jam sebanyak 5-10 kJ, setelah 0,6 jam laju kenaikan hanya sebesar 2-3 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa Cu mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,1-0,3 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,8 jam sebesar 70-80 kJ, setelah 1,8 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil.

4.2. Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 1,5 LPM

Penelitian laju pelepasan kalor yang terjadi dari PCM ke HTF perlu dilakukan pengamatan pelepasan temperatur PCM arah aksial, arah vertikal, dan arah horisontal yang ada di dalam tangki TES. Hasil pengamatan yang dilihat dari 26 titik termokopel yang tersebar dengan posisi Gambar 3.11 dan dilakukan dengan variasi laju aliran 1 LPM, 1.5 LPM, 2 LPM, dan 2.5 LPM pada proses *discharging* bertahap. Proses pengambilan data menggunakan *discharging* bertahap atau setiap lima menit aliran air dihidupkan dan lima menit dimatikan seterusnya sampai suhu pada T32 mencapai 35°C. Laju pelepasan temperatur variasi 1,5 LPM relatif lebih lama daripada variasi 2 LPM dan 2,5 LPM. Pengambilan data pada variasi 1,5 LPM mencapai 4,1 jam.

4.2.1. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

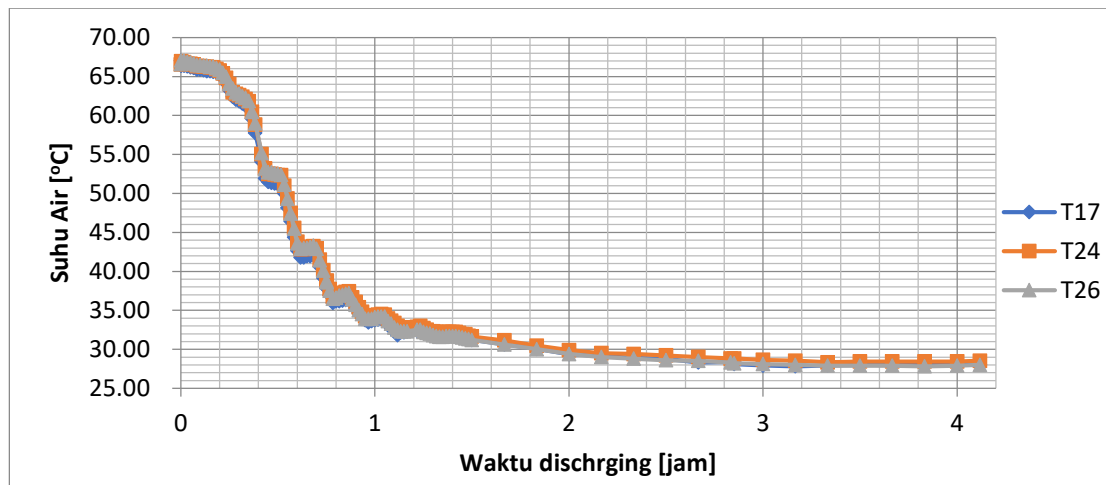
Hasil setelah pengujian pada variasi 1,5 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.8 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.8 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,4-0,6 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55°C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF

sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup. Setelah 0,6 jam pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid saat suhu mencapai 52,86°C.



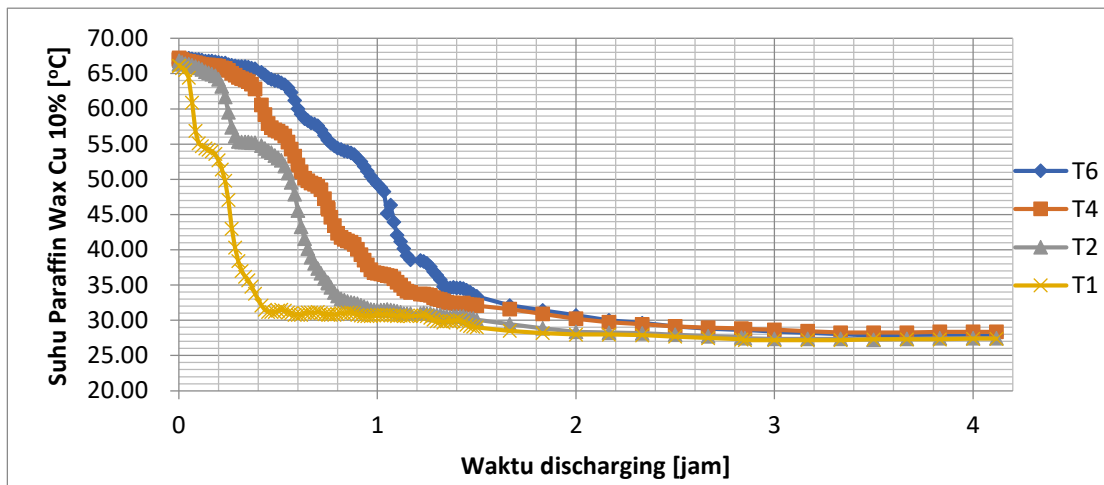
Gambar 4.9 Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.9 aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-rata mengalami kenaikan 1-2°C pada waktu 0,5-1,2 jam dan setelah waktu 1,2-4,1 jam suhu dalam tangki konstan pada 28°C mengikuti suhu dari air kran.

Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,2 jam mengalami grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah dari 1,2 jam suhu dalam pipa cenderung lebih stabil tidak mengalami kenaikan. Suhu pada ketiga termokopel dari 0-4,1 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil sehingga turbulen aliran air pun kecil. Maka dari itu semakin besar debit yang dipakai maka turbulen aliran air pun semakin besar dan membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

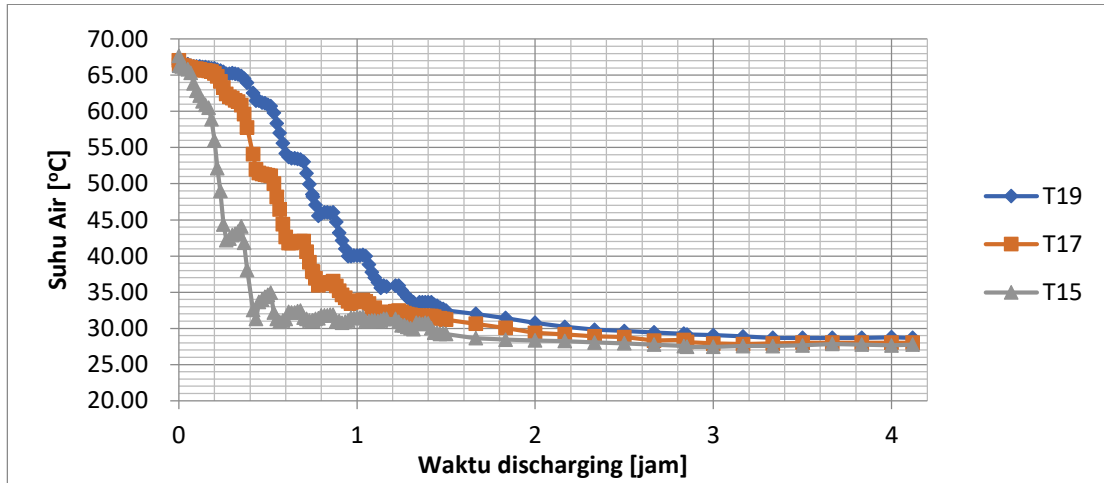
4.2.2. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 1,5 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.10 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.10 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.10. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 18°C, suhu T4 berkisar 30°C, suhu T2 berkisar 35°C, dan suhu T1 pada 0-1 jam berkisar 36°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama satu jam.

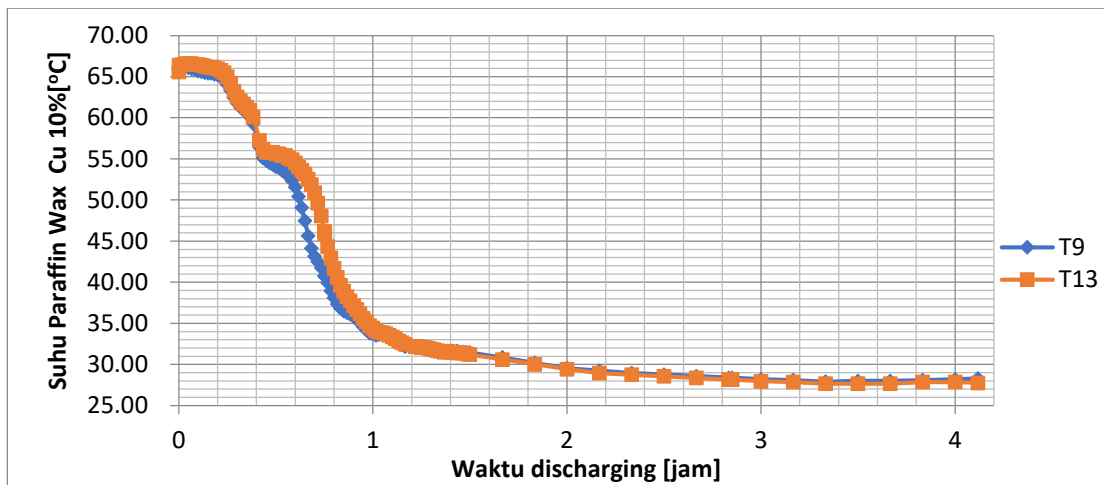


Gambar 4.11 Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.11. Rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-1 jam berkisar 26°C, suhu T17 berkisar 33°C, dan suhu T15 pada 0-1 jam berkisar 36°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

4.2.3. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horizontal

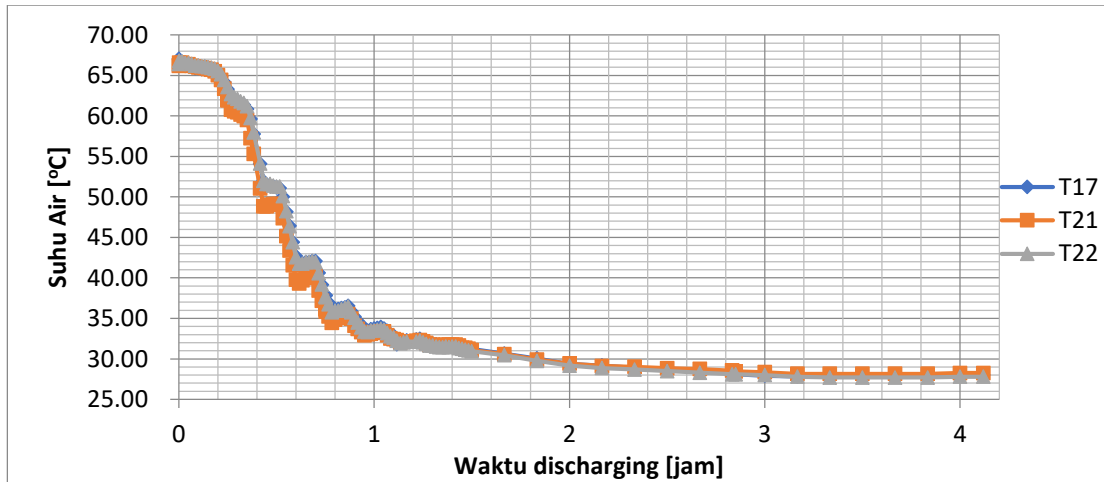
Hasil setelah pengujian pada variasi 1,5 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.12 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.12 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horizontal

Suhu pada kedua termokopel dari 0-0,5 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1 °C dapat dilihat pada gambar 4.12. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-1,1 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 1,1-4,1 jam T9 lebih tinggi dari T13. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,4-0,6 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55 °C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup.



Gambar 4.13 Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal

Grafik pada gambar 4.13 horizontal air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horizontal *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Grafik ketiga termokopel pada 0,3-0,4 jam terjadi penurunan drastis sekitar 9°C. Kenaikan suhu terjadi dari 0,4-1,2 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan dan penurunan suhu stabil sampai selesai pengujian.

Suhu pada ketiga termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 3°C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

4.2.4. Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses discharging dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1.

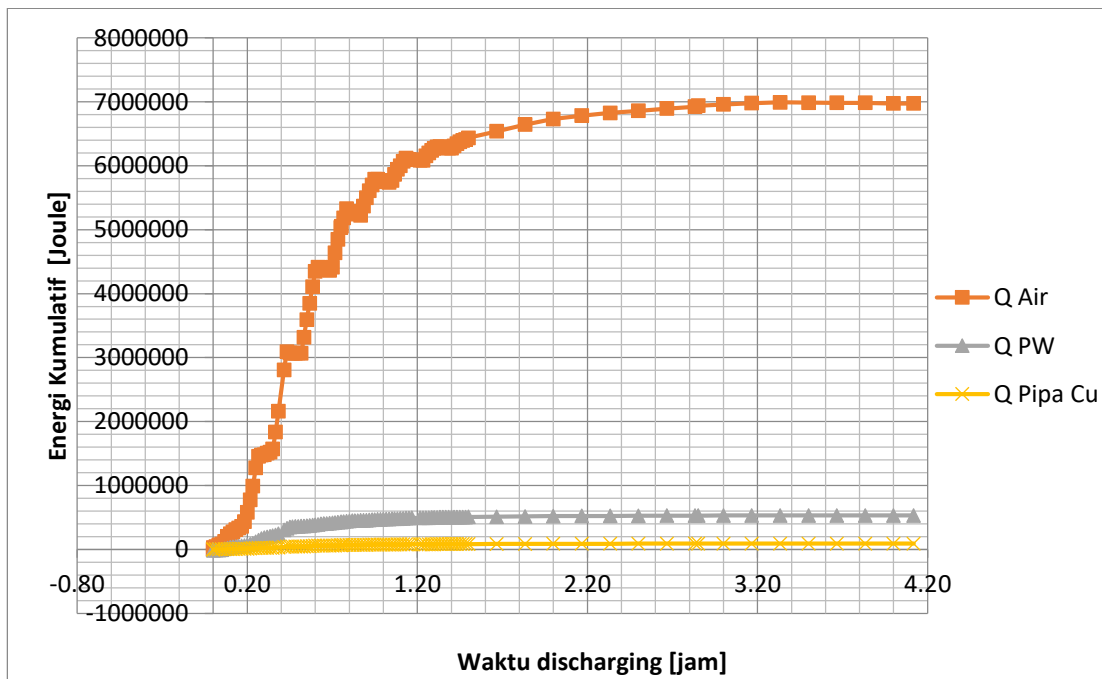
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (66.85 - 28.15)$$

$$Q_{kum} = 6,975,258.37 \text{ J}$$

Tabel 4.2 Energi Kumulatif 1,5 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]	[kg]	°C	°C	°C	(J)
Air	4180	43.13	66.85	28.15	38.69	6,975,258.37
Pipa Cu	390	5.91	67.04	27.72	39.31	90,554.78
PW+10%Cu	1839	6.7	66.14	27.95	38.20	994,180.17



Gambar 4.14 Grafik Energi Kumulatif

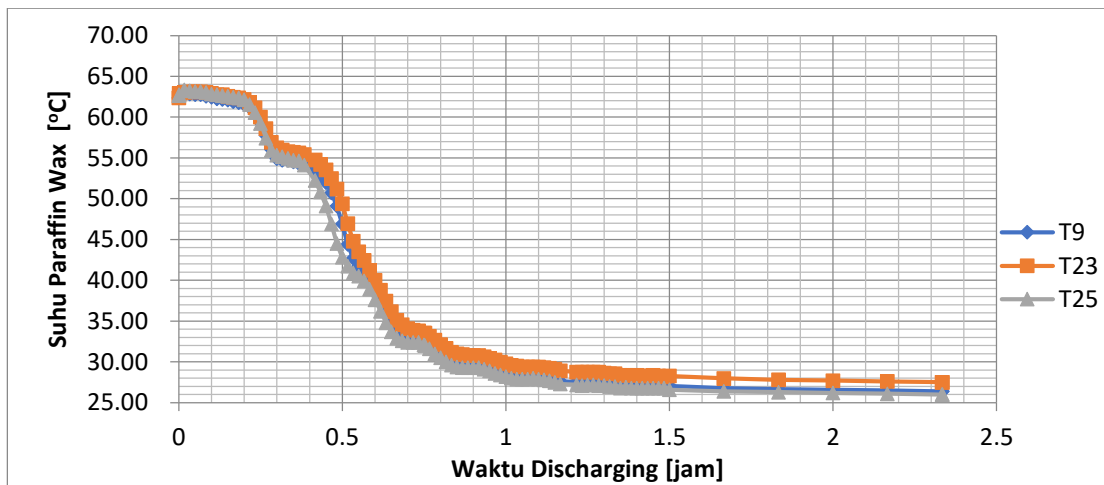
Grafik pada gambar 4.14 Q pipa *Cu* lebih rendah dari air dan *paraffin wax Cu* disebabkan nilai C_p yang rendah yaitu 390 J/kg.K, sedangkan nilai C_p air 4180 J/kg.K dan C_p *Paraffin Wax Cu* 10 % 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax Cu* 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,4 jam sebanyak 7-9 kJ, setelah 0,4 jam laju kenaikan hanya sebesar 3-5 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa *Cu* mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,1-0,6 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1,5 jam sebesar 50-80 kJ, setelah 1,5 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil.

4.3. Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 2 LPM

Penelitian laju pelepasan kalor yang terjadi dari PCM ke HTF perlu dilakukan pengamatan pelepasan temperatur PCM arah aksial, arah vertikal, dan arah horisontal yang ada di dalam tangki TES. Hasil pengamatan yang dilihat dari 26 titik termokopel yang tersebar dengan posisi Gambar 3.11 dan dilakukan dengan variasi laju aliran 1 LPM, 1.5 LPM, 2 LPM, dan 2.5 LPM pada proses *discharging* bertahap. Proses pengambilan data menggunakan *discharging* bertahap atau setiap lima menit aliran air dihidupkan dan lima menit dimatikan seterusnya sampai suhu pada T32 mencapai 35°C. Laju pelepasan kalor pada 2 LPM relatif paling cepat daripada variasi lainnya karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65 °C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69 °C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam.

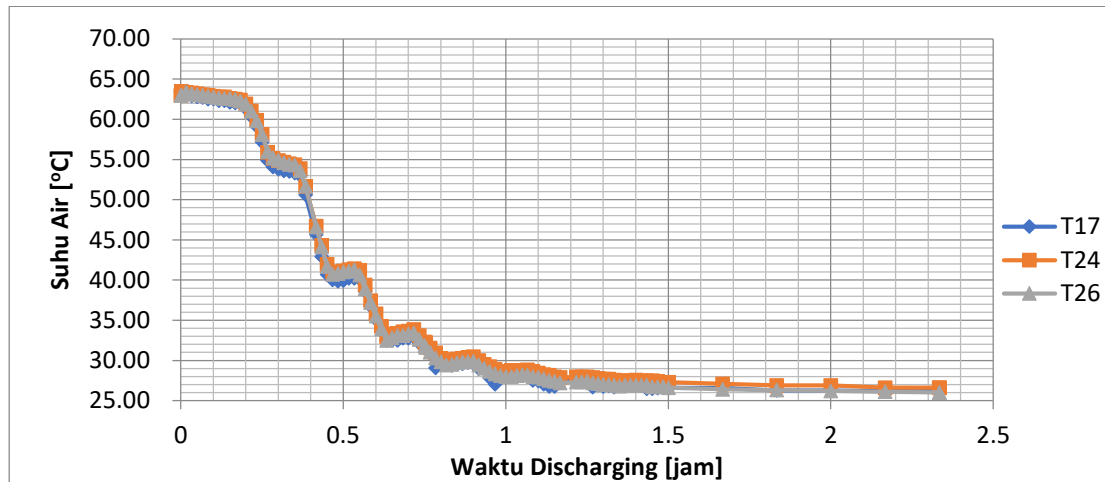
4.3.1. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Hasil setelah pengujian pada variasi 2 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.15 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.15 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,3-0,4 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55°C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup. Setelah 0,5 jam pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid saat suhu mencapai 52,86°C.



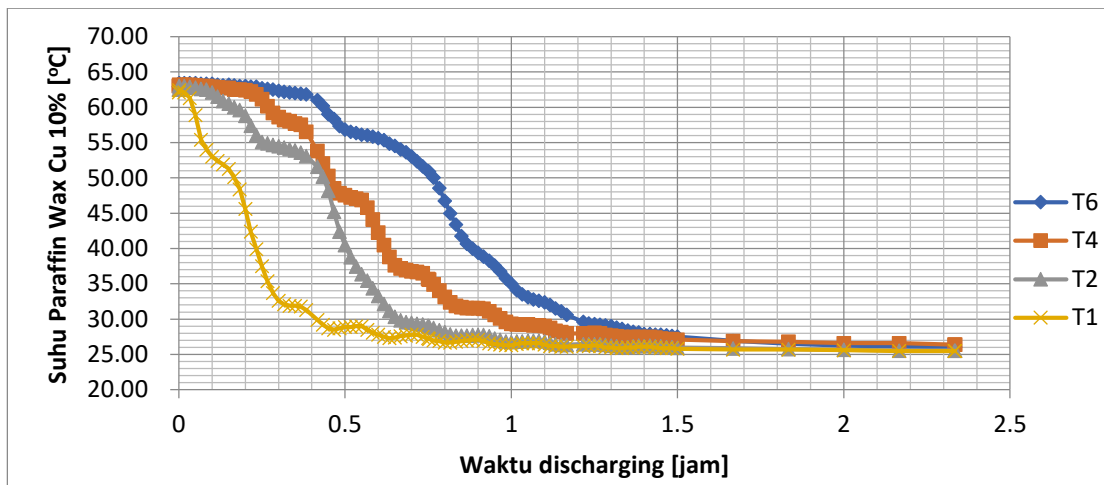
Gambar 4.16 Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.16 aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-rata mengalami kenaikan 1 °C pada waktu 0,4-1,1 jam dan setelah waktu 1,1-2,4 jam suhu dalam tangki konstan pada 27 °C mengikuti suhu dari air kran.

Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,1 jam mengalami grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah dari 1,1 jam suhu dalam pipa cenderung lebih stabil tidak mengalami kenaikan. Suhu pada ketiga termokopel dari 0-2,4 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil sehingga turbulen aliran air pun kecil. Maka dari itu semakin besar debit yang dipakai maka turbulen aliran air pun semakin besar dan membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

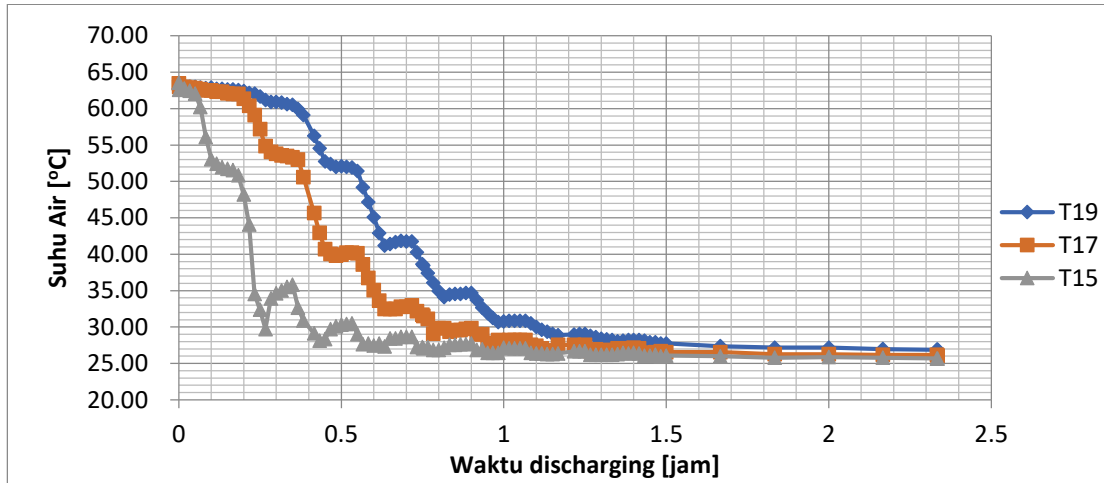
4.3.2. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 2 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.17 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.17 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.17. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 28°C, suhu T4 berkisar 33°C, suhu T2 berkisar 35°C, dan suhu T1 pada 0-1 jam berkisar 36°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 selama satu jam.

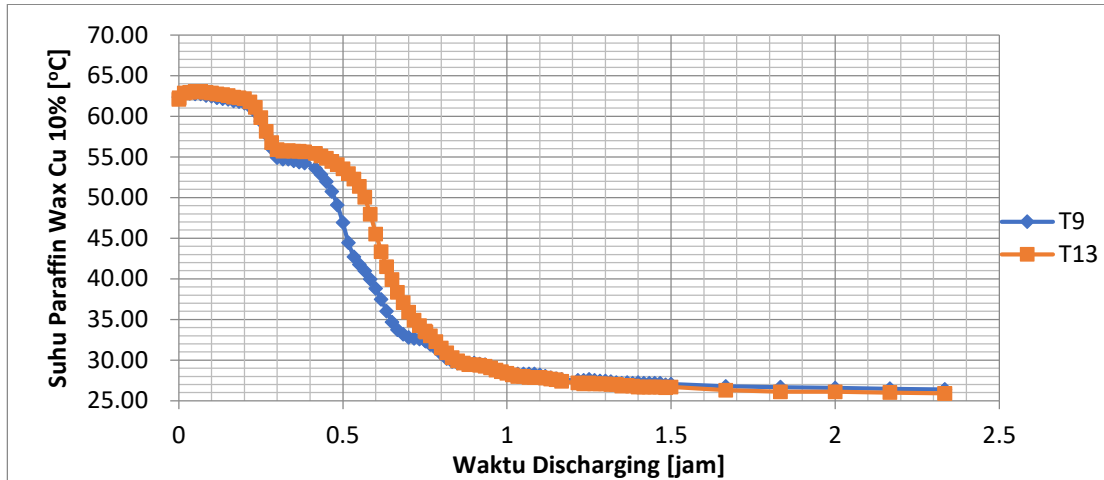


Gambar 4.18 Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.18. Rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-1 jam berkisar 31 °C, suhu T17 berkisar 35 °C, dan suhu T15 pada 0-1 jam berkisar 36 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

4.3.3. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

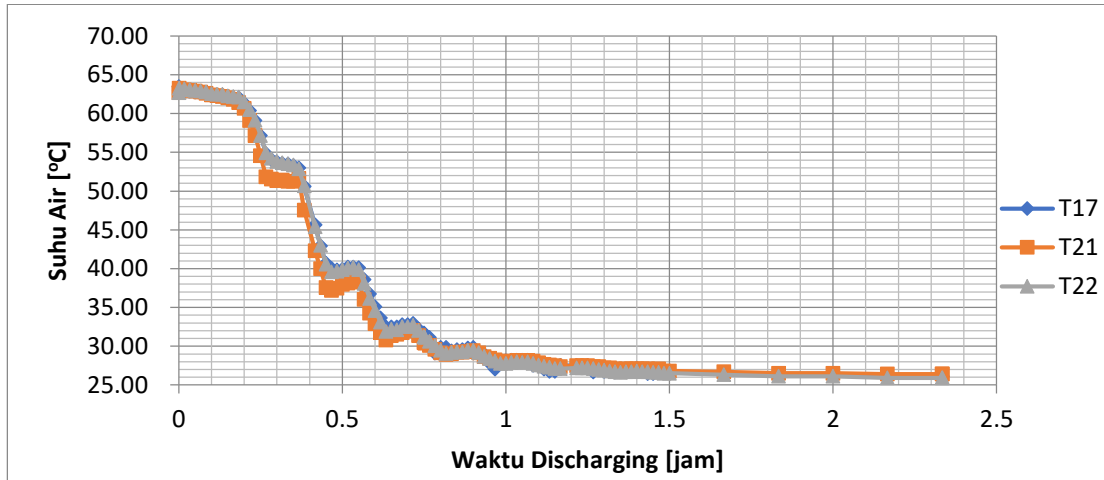
Hasil setelah pengujian pada variasi 2 LPM arah horisontal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.19 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.19 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horisontal

Suhu pada kedua termokopel dari 0-0,5 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1 °C dapat dilihat pada gambar 4.19. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-1 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 1-2,4 jam T9 lebih tinggi dari T13. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,3-0,4 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55°C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup.



Gambar 4.20 Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal

Grafik pada gambar 4.20 horizontal air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horizontal *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Grafik ketiga termokopel pada 0,35-0,45 jam terjadi penurunan drastis sekitar 13 °C. Kenaikan suhu terjadi dari 0,45-0,9 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan dan penurunan suhu stabil sampai selesai pengujian.

Suhu pada ketiga termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 3 °C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

4.3.4. Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses *discharging* dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1.

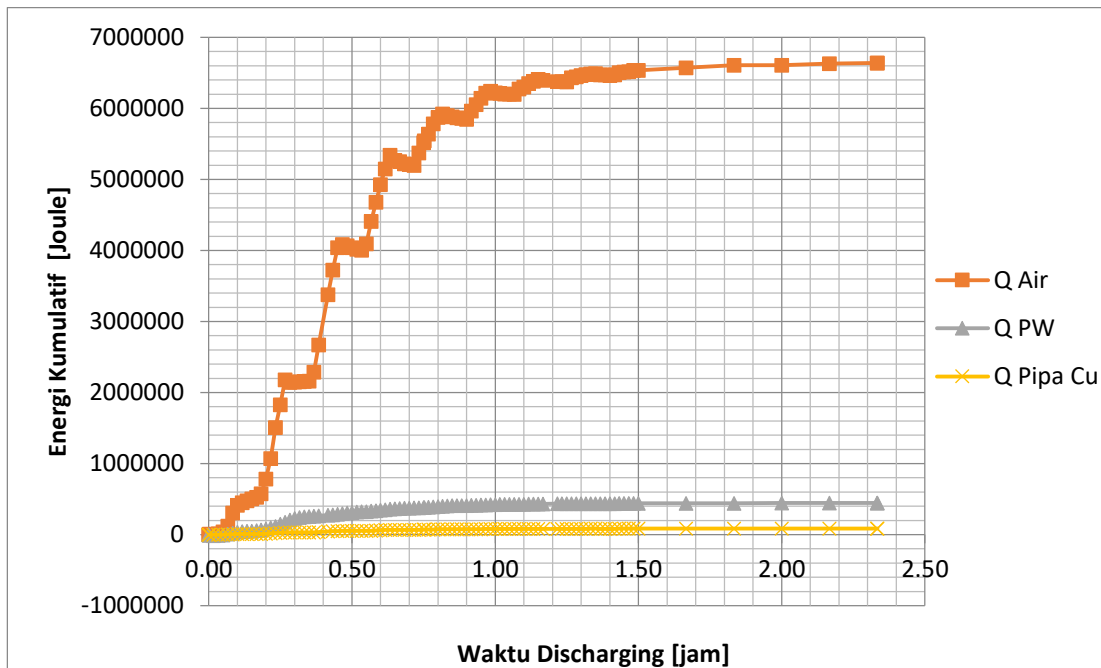
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (66.85 - 28.15)$$

$$Q_{kum} = 6,975,258.37 \text{ J}$$

Tabel 4.3 Energi Kumulatif 2 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]					
Air	4180	43.13	63.07	26.24	36.84	6,641,135.76
Pipa Cu	390	5.91	63.01	25.81	37.20	85,688.62
PW+10%Cu	1839	6.7	62.50	26.07	36.43	835,264.46



Gambar 4.21 Grafik Energi Kumulatif

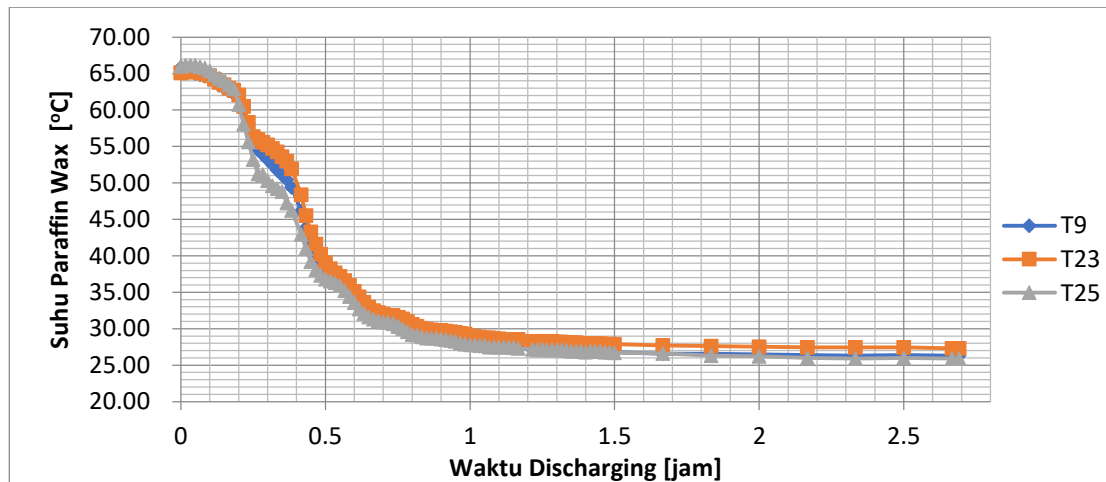
Grafik pada gambar 4.21 Q pipa *Cu* lebih rendah dari air dan *paraffin wax Cu* disebabkan nilai C_p yang rendah yaitu 390 J/kg.K, sedangkan nilai C_p air 4180 J/kg.K dan C_p *Paraffin Wax Cu* 10 % 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax Cu* 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,3 jam sebanyak 6-10 kJ, setelah 0,4 jam laju kenaikan hanya sebesar 2-4 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa *Cu* mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,3-0,9 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1 jam sebesar 50-400 kJ, setelah 1 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil. Besarnya Q air dipengaruhi oleh cepatnya penurunan suhu saat discharging.

4.4. Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 2,5 LPM

Penelitian laju pelepasan kalor yang terjadi dari PCM ke HTF perlu dilakukan pengamatan pelepasan temperatur PCM arah aksial, arah vertikal, dan arah horisontal yang ada di dalam tangki TES. Hasil pengamatan yang dilihat dari 26 titik termokopel yang tersebar dengan posisi Gambar 3.11 dan dilakukan dengan variasi laju aliran 1 LPM, 1.5 LPM, 2 LPM, dan 2.5 LPM pada proses *discharging* bertahap. Proses pengambilan data menggunakan *discharging* bertahap atau setiap lima menit aliran air dihidupkan dan lima menit dimatikan seterusnya sampai suhu pada T32 mencapai 35°C. Laju pelepasan temperatur variasi 2,5 LPM relatif lebih lama daripada variasi 2 LPM. Pengambilan data pada variasi 1,5 LPM mencapai 2,6 jam.

4.4.1. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

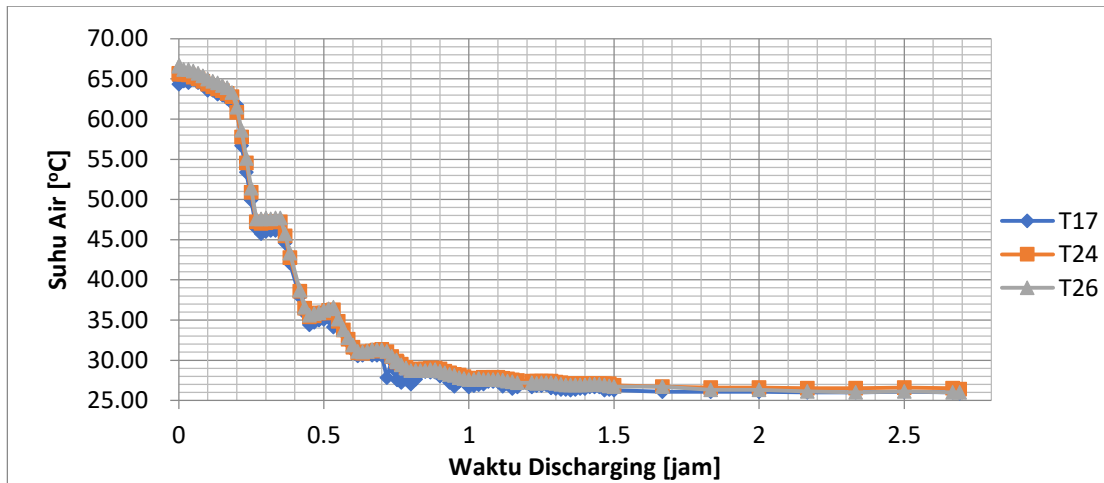
Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah aksial terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.22 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4.22 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.22 menunjukkan bahwa suhu pada ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,25-0,3 jam *paraffin wax Cu* 10% sempat menahan suhu sekitar 54 °C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari

PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup. Setelah 0,3 jam pengujian ketiga termokopel mengalami penurunan secara stabil karena fasa lilin berubah menjadi solid saat suhu mencapai 52,86 °C.



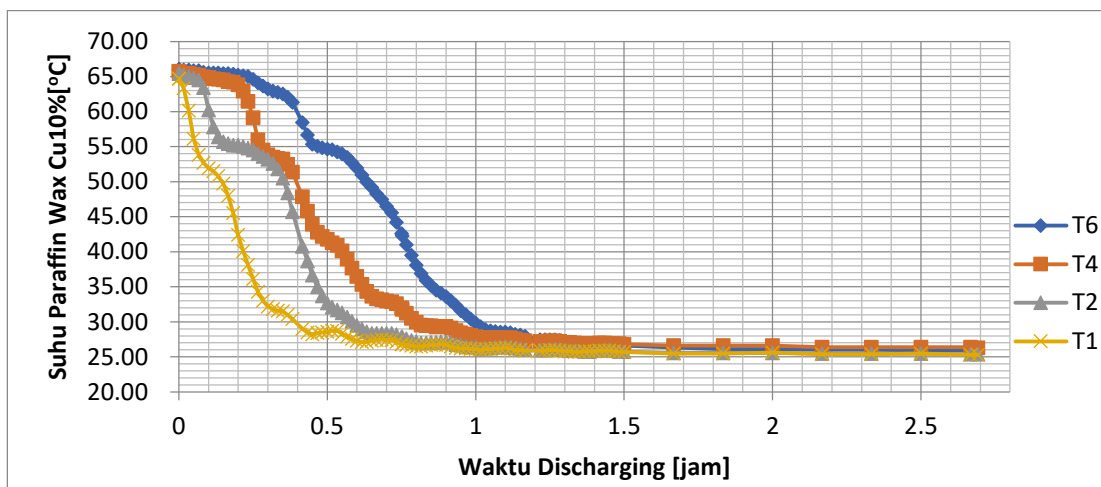
Gambar 4.23 Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial

Grafik pada gambar 4.23 aksial air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik aksial *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Setelah kran air ditutup maka air menyerap panas dari PCM sehingga saat kran dibuka suhu rata-rata mengalami kenaikan 1-2 °C pada waktu 0,4-1,1 jam dan setelah waktu 1,1-2,7 jam suhu dalam tangki konstan pada 27 °C mengikuti suhu dari air kran.

Suhu pada ketiga termokopel dari 0-1,1 jam mengalami grafik naik turun karena terjadi pelepasan kalor dan setelah dari 1,1 jam suhu dalam pipa cenderung lebih stabil tidak mengalami kenaikan. Suhu pada ketiga termokopel dari 0-0,7 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan belum terdapat turbulen dan pada 0,7-1 jam mengalami turbulen sehingga perbandingan suhu dari ketiga termokopel cukup besar.

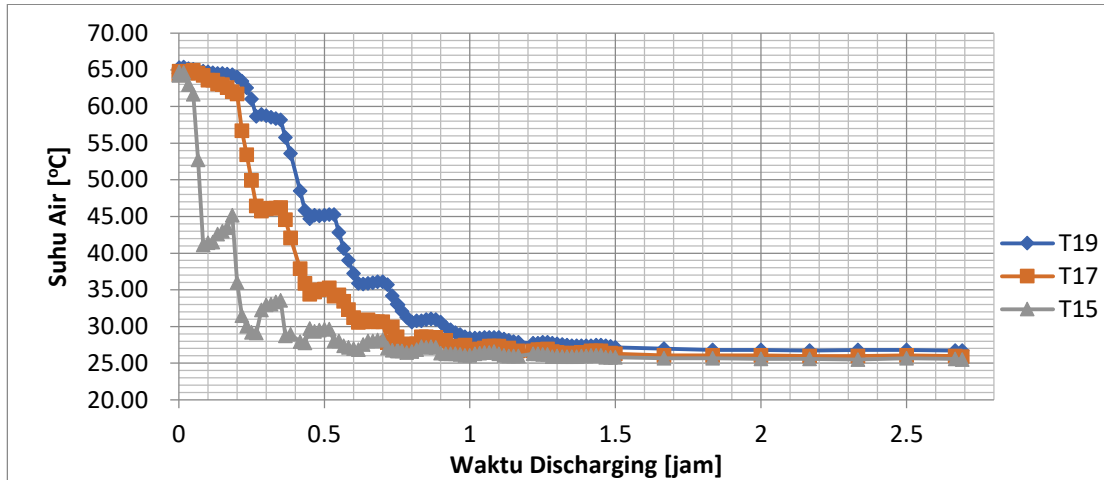
4.4.2. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.24 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.24 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Vertikal

Suhu pada T1 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.24. Rendahnya T1 dipengaruhi oleh letak pipa tembaga, letak pipa tembaga berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T6 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak pipa tembaga yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T6 pada 0-1 jam berkisar 36°C, suhu T4 berkisar 38°C, suhu T2 berkisar 39°C, dan suhu T1 pada 0-1 jam berkisar 39°C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T1 dan T2 selama satu jam.

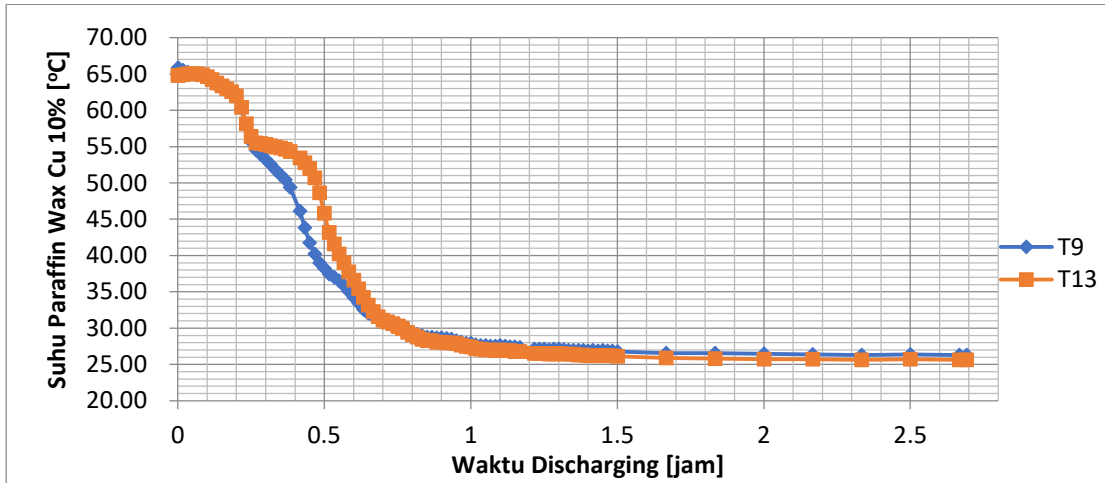


Gambar 4.25 Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal

Suhu pada T15 ketika pengambilan data mengalami penurunan drastis dan suhu lebih rendah dari ketiga termokopel lainnya dapat dilihat pada gambar 4.25. Rendahnya T15 dipengaruhi oleh letak termokopel, letak T15 berada pada paling dekat dengan input air kran masuk ke tangki TES. Sebaliknya T19 memiliki suhu yang relatif konstan karena letak yang paling jauh dari input air kran. Penurunan suhu T19 pada 0-1 jam berkisar 36 °C, suhu T17 berkisar 37 °C, dan suhu T15 pada 0-1 jam berkisar 38 °C. Sehingga pelepasan kalor paling cepat pada T15.

4.4.3. Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horizontal

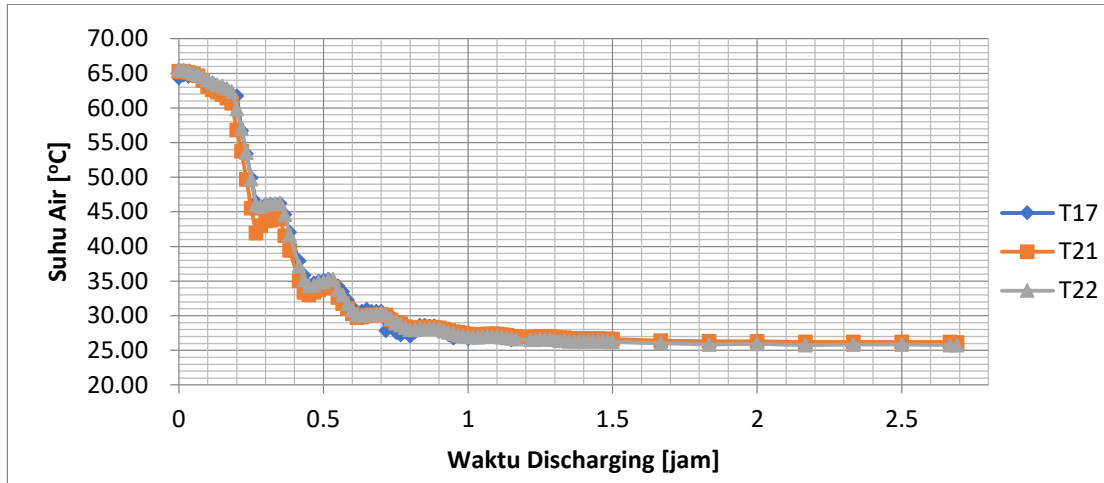
Hasil setelah pengujian pada variasi 2,5 LPM arah vertikal terdapat dua grafik yaitu evolusi suhu campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga fraksi berat 10% dan evolusi suhu pada air. Grafik evolusi suhu pada PCM dilihat pada gambar 4.26 sedangkan grafik evolusi suhu air dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.26 Evolusi Suhu Campuran PW + 10% Cu dalam Arah Horizontal

Suhu pada kedua termokopel dari 0-0,25 jam tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 1 °C dapat dilihat pada gambar 4.26. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat kedua termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar. Pada waktu 0-0,7 jam suhu T13 lebih tinggi dari T9 namun dari 0,7-2,6 jam T9 lebih tinggi dari T13. Suhu T9 pada awal pengambilan data lebih rendah dari T13 dikarenakan letak pipa tembaga T9 berada di atas *output* air kran, sehingga saat kran dibuka T9 dahulu mengenai air dari T13 yang berada pada samping T9.

Grafik menunjukkan bahwa suhu pada kedua termokopel tidak mengalami kenaikan namun pada 0,2-0,3 jam *paraffin wax Cu 10%* sempat menahan suhu sekitar 55 °C. Peristiwa ini disebabkan terjadinya pelepasan kalo dari PCM ke HTF sehingga suhu PCM tidak mengalami kenaikan tetapi suhu HTF mengalami kenaikan saat air kran ditutup.



Gambar 4.27 Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal

Grafik pada gambar 4.27 horizontal air cenderung terdapat kenaikan suhu daripada grafik horizontal *paraffin wax Cu 10%*. Naik turun grafik sangat dipengaruhi oleh proses *discharging* bertahap saat air kran dimatikan dan dihidupkan. Naiknya suhu terjadi karena kran air ditutup sehingga air menyerap panas dari PCM. Grafik ketiga termokopel pada 0,2-0,25 jam terjadi penurunan drastis sekitar 16°C-19°C. Kenaikan suhu terjadi dari 0,25-0,95 jam kemudian ketiga termokopel tidak mengalami kenaikan dan penurunan suhu stabil sampai selesai pengujian.

Suhu pada ketiga termokopel rata-rata tidak mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan menggunakan debit air yang relatif kecil dan memiliki selisih suhu tidak sampai 3°C. Maka dari itu, semakin besar debit yang dipakai maka membuat ketiga termokopel mengalami perbedaan suhu yang besar.

4.4.4. Grafik Energi Kumulatif

Energi kumulatif adalah energi yang dilepas saat proses *discharging* dari awal penelitian hingga selesai dan didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1.

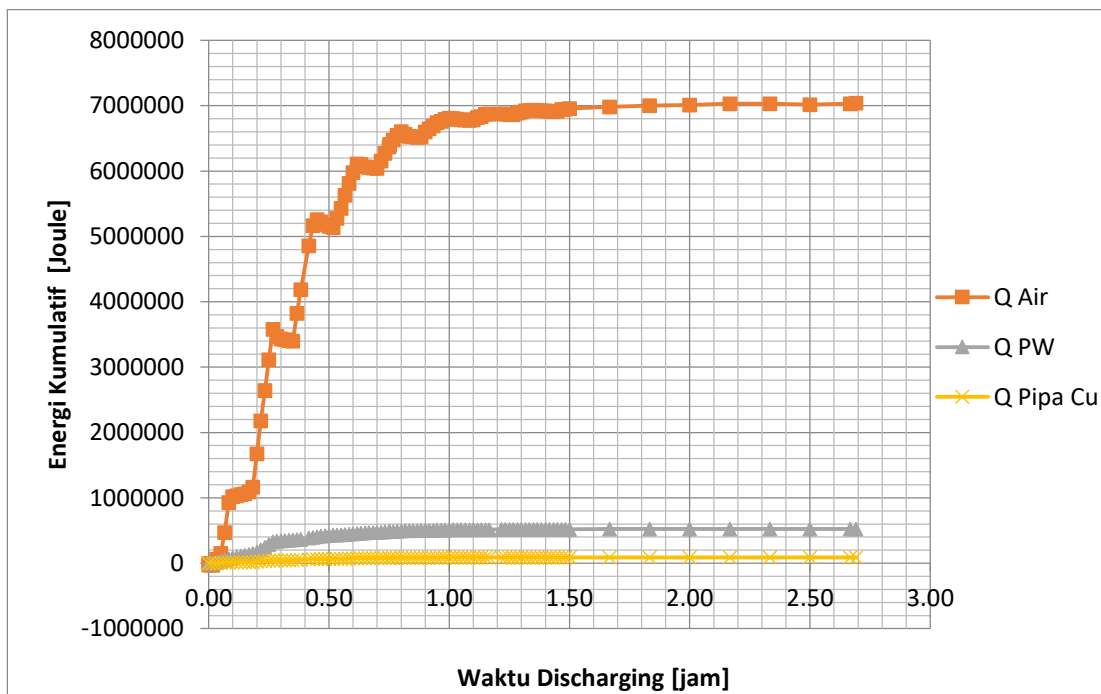
$$Q_{kum} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_{kum} = 43.13 \times 4180 \times (65.09 - 26.03)$$

$$Q_{kum} = 7,040,438.55 \text{ J}$$

Tabel 4.4 Energi Kumulatif 2,5 LPM

Bahan	cp	Massa	T1	T2	ΔT	Q kum
	[J/(kg.K)]					
Air	4180	43.13	65.09	26.03	39.05	7,040,438.55
Pipa Cu	390	5.91	64.76	25.73	39.04	89,915.17
PW+10%Cu	1839	6.7	65.44	25.92	39.52	982,907.99



Gambar 4.28 Grafik Energi Kumulatif

Grafik pada gambar 4.28 Q pipa *Cu* lebih rendah dari air dan *paraffin wax Cu* disebabkan nilai C_p yang rendah yaitu 390 J/kg.K, sedangkan nilai C_p air 4180 J/kg.K dan C_p *Paraffin Wax Cu* 10% 2000 J/kg.K. Grafik Q *Paraffin Wax Cu* 10% mengalami kenaikan signifikan pada 0-0,3 jam sebanyak 13-23 kJ, setelah 0,3 jam laju kenaikan hanya sebesar 3-7 kJ dan relatif stabil. Grafik Q pipa *Cu* mengalami kenaikan relatif stabil sebesar 0,8-1 kJ. Kenaikan grafik paling signifikan terjadi pada Q air pada 0-1 jam sebesar 100-600 kJ, setelah 1 jam relatif mengalami kenaikan lebih stabil. Besarnya Q air dipengaruhi oleh cepatnya penurunan suhu saat discharging.

4.5. Laju Pelepasan Kalor dan Laju Penurunan Suhu

4.5.1. Laju Pelepasan Kalor Air

Laju pelepasan kalor pada air dapat dicari dengan persamaan 4.2:

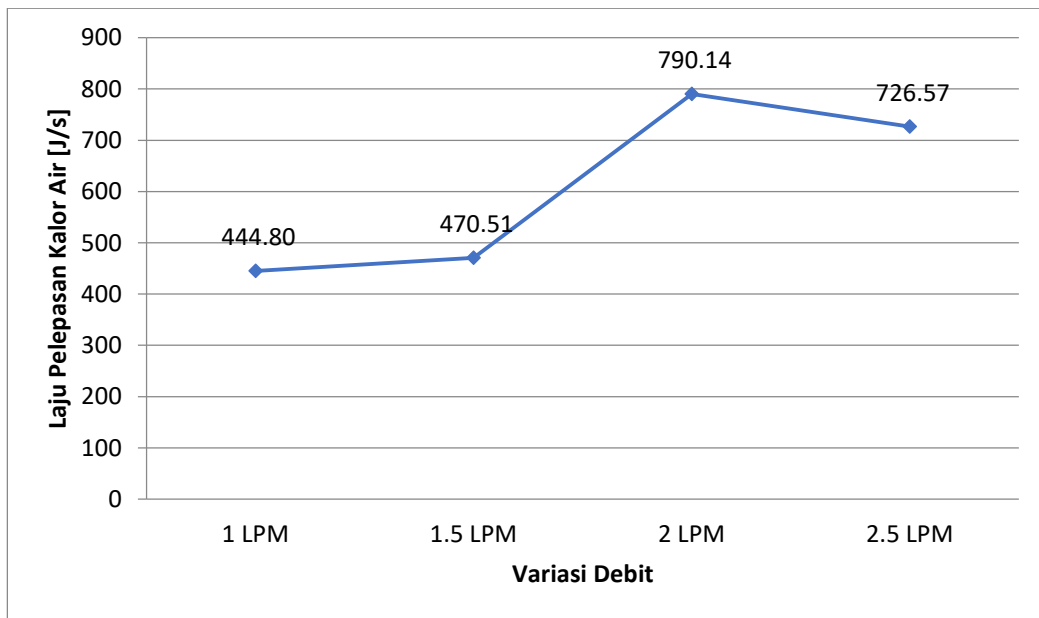
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (4.2)$$

$$\dot{Q} = \frac{7,377,020.99}{16585}$$

$$\dot{Q} = 444.8 \text{ J/s}$$

Tabel 4.5 Laju Pelepasan Kalor Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	\dot{Q}
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	444.80
1.5	66.85	28.15	38.69	14825	6,975,258.37	994,180.17	470.51
2	63.07	26.24	36.84	8405	6,641,135.76	835,264.46	790.14
2.5	65.09	26.03	39.06	9690	7,040,438.55	982,907.99	726.57



Gambar 4.29 Laju Pelepasan Kalor Air

Grafik pada gambar 4.29 diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor air paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 444,8 J/s karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2 LPM yaitu 790,14 J/s karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65°C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69°C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam dan variasi 2 LPM memiliki perubahan suhu paling rendah daripada ketiga variasi lainnya.

4.5.2. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 10% berat

Laju pelepasan kalor pada paraffin wax Cu 10% dapat dicari dengan persamaan 4.2:

$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}} \quad (4.2)$$

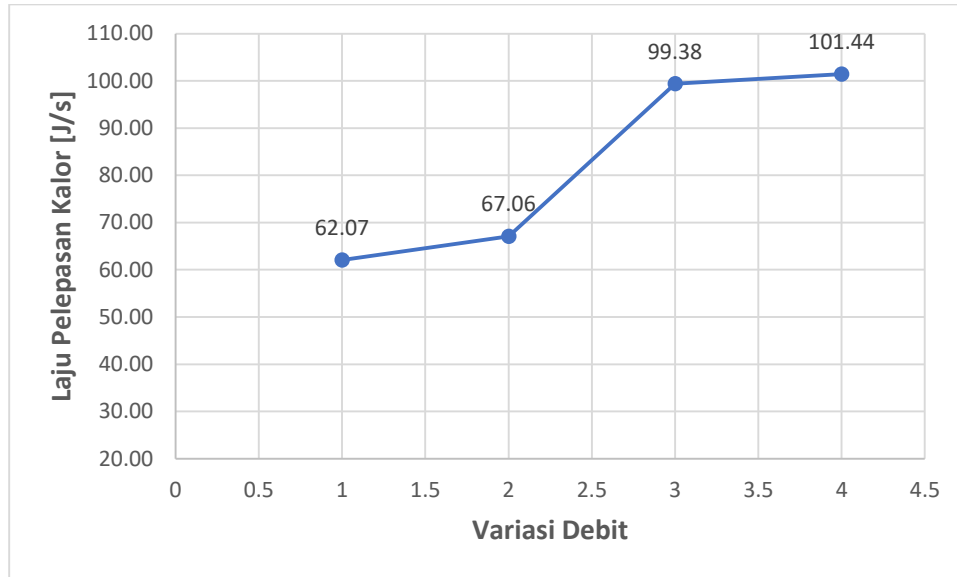
$$\dot{Q} = \frac{Q_{kumulatif}}{t_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1,029,378.78}{16585}$$

$$\dot{Q} = 62.07 \text{ J/s}$$

Tabel 4.6 Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax Cu 10%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	\dot{Q}
LPM	°C	°C	°C	(detik)	(J)	(J)	(J/s)
1	66.14	25.05	41.09	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	62.07
1.5	66.14	27.95	38.20	14825	6,975,258.37	994,180.17	67.06
2	62.50	26.07	36.43	8405	6,641,135.76	835,264.46	99.38
2.5	65.44	25.92	39.52	9690	7,040,438.55	982,907.99	101.44



Gambar 4.30 Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax + Cu 10%

Grafik pada gambar 4.30 diatas menunjukkan bahwa laju pelepasan kalor pada *paraffin wax Cu 10%* paling rendah yaitu pada variasi 1 LPM yaitu 62,07 J/s. Sedangkan laju pelepasan terbesar pada variasi 2,5 LPM yaitu 101,44 J/s. Variasi 2,5 LPM memiliki laju pelepasan terbesar karena menggunakan debit paling besar sehingga memiliki perubahan suhu yang cepat dan mengalami pelepasan kalor 101,44 joule dalam setiap detik.

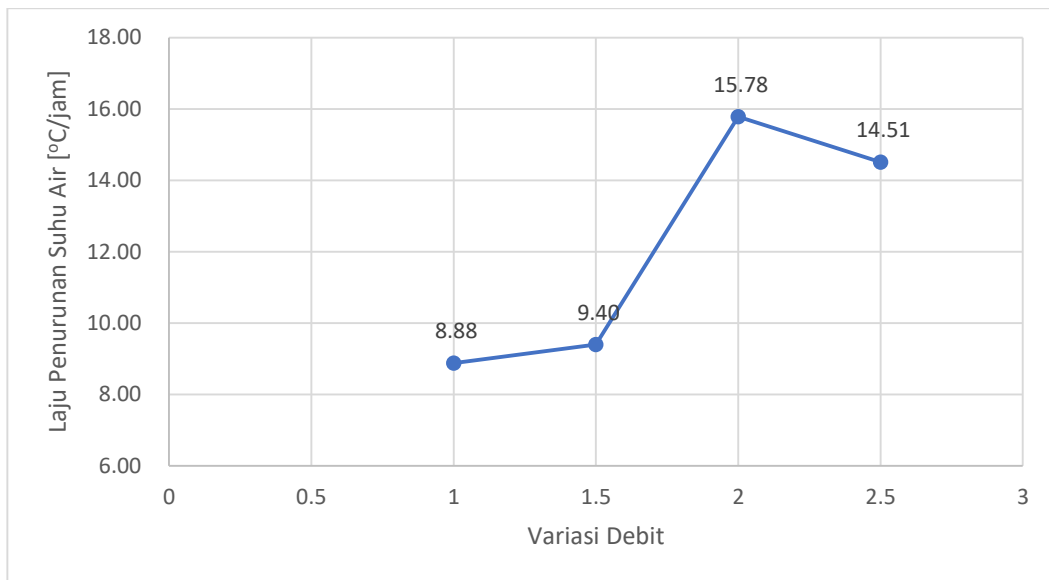
4.5.3. Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu pada air dapat dicari dengan persamaan 4.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} & (4.3) \\
 &= \frac{(66,17 - 25,25) \times 3600}{16585} \\
 &= 8.88 \text{ } ^\circ\text{C/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Laju Penurunan Suhu Air

V	T1 Air	T2 Air	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q pipa Cu
LPM	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66.17	25.25	40.92	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	96,338.79
1.5	66.85	28.15	38.69	14825	6,975,258.37	994,180.17	90,554.78
2	63.07	26.24	36.84	8405	6,641,135.76	835,264.46	85,688.62
2.5	65.09	26.03	39.06	9690	7,040,438.55	982,907.99	89,915.17



Gambar 4.31 Laju Penurunan Suhu Air

Grafik pada gambar 4.31 diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu air paling rendah $8,88^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar $15,78^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ pada variasi 2 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65°C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69°C . Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam. Sehingga pada 2 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu $15,78^{\circ}\text{C}$ dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu $8,88^{\circ}\text{C}$ dalam setiap jam.

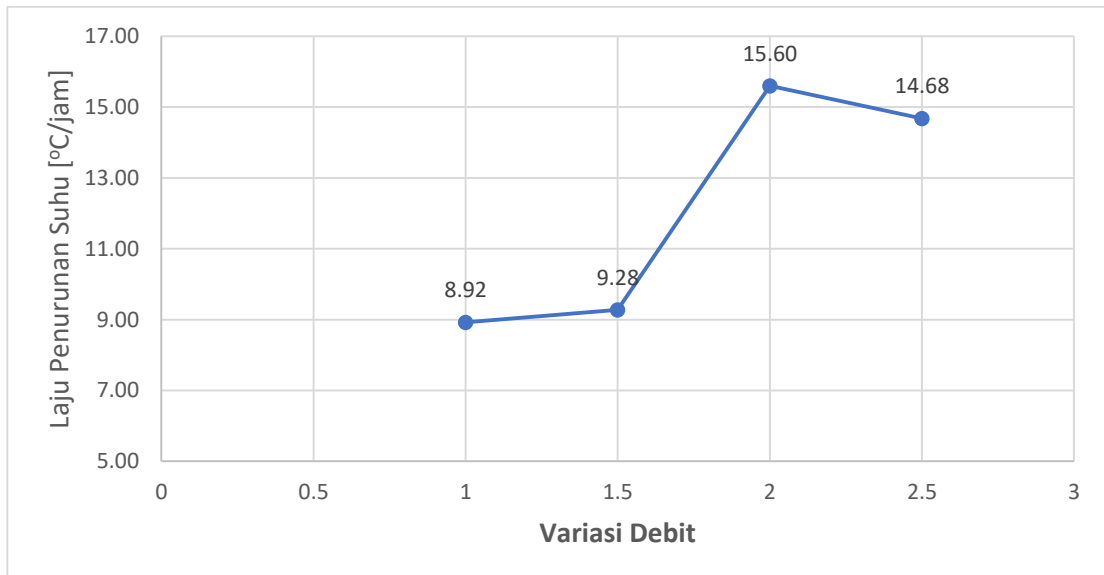
4.5.4. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax + Cu 10% berat

Laju penurunan suhu pada *paraffin wax* Cu 10% dapat dicari dengan persamaan 4.3.

$$\begin{aligned} \text{Laju Penurunan Suhu} &= \frac{(T_{awal} - T_{akhir}) \times 3600}{t_{total}} && (4.3) \\ &= \frac{(66,14 - 25,05) \times 3600}{16585} \\ &= 8.92 \text{ } ^\circ\text{C/jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu* 10%

V	T1 PCM	T2 PCM	ΔT	Δt	Q kum Air	Q Paraffin Cu 10%	Q pipa Cu
LPM	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	(detik)	(J)	(J)	(J)
1	66.14	25.05	41.09	16585	7,377,020.99	1,029,378.78	96,338.79
1.5	66.14	27.95	38.20	14825	6,975,258.37	994,180.17	90,554.78
2	62.50	26.07	36.43	8405	6,641,135.76	835,264.46	85,688.62
2.5	65.44	25.92	39.52	9690	7,040,438.55	982,907.99	89,915.17



Gambar 4.32 Laju Penurunan Suhu *Paraffin Wax Cu* 10%

Grafik pada gambar 4.32 diatas menunjukkan bahwa laju penurunan suhu *paraffin wax Cu* 10% paling rendah 8,92°C/jam yaitu pada variasi 1 LPM karena memiliki waktu yang paling lama 4,5 jam diantara variasi lainnya. Sedangkan laju penurunan suhu air terbesar 15,6°C/jam pada variasi 2 LPM karena memiliki waktu yang tercepat saat pengujian. Variasi 2 LPM memiliki waktu yang tercepat karena suhu mulai proses *discharging* dibawah 65°C yang membuat proses penurunan lebih cepat dari variasi yang suhu awalnya 69°C. Pengambilan data pada variasi 2 LPM mencapai 2,4 jam. Sehingga pada 2 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 15,6°C dalam setiap jam dan pada 1 LPM mengalami rata-rata penurunan suhu 8,92°C dalam setiap jam.