

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Penelitian**

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berupa data suhu dan waktu selama pengambilan data yang dapat dilihat pada Lampiran 2. Data suhu yang didapatkan dikalibrasi menggunakan rumus kalibrasi termokopel pada Tabel 3.5. Nilai T1 pada menit ke 0 variasi debit air 1 LPM adalah 67,7°C, maka kalibrasi termokopelnya seperti berikut :

$$T_{st,1} = 1,0004 \cdot T_1 - 3,12$$

$$T_{st,1} = 1,0004 \cdot 67,7 - 3,12$$

$$T_{st,1} = 64,607 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Data suhu terkalibrasi dapat dilihat pada Lampiran 10. Selain data suhu, variasi debit yang digunakan pada penelitian ini juga dikalibrasi menggunakan rumus kalibrasi rotameter pada Persamaan 3.2. Kalibrasi rotameter variasi debit air 1 LPM adalah seperti berikut :

$$Q_{\text{aktual}} = 1,1526 \cdot Q_{\text{rotameter air}} + 0,0552$$

$$Q_{\text{aktual}} = 1,1526 \cdot 1 + 0,0552$$

$$Q_{\text{aktual}} = 1,21 \text{ LPM}$$

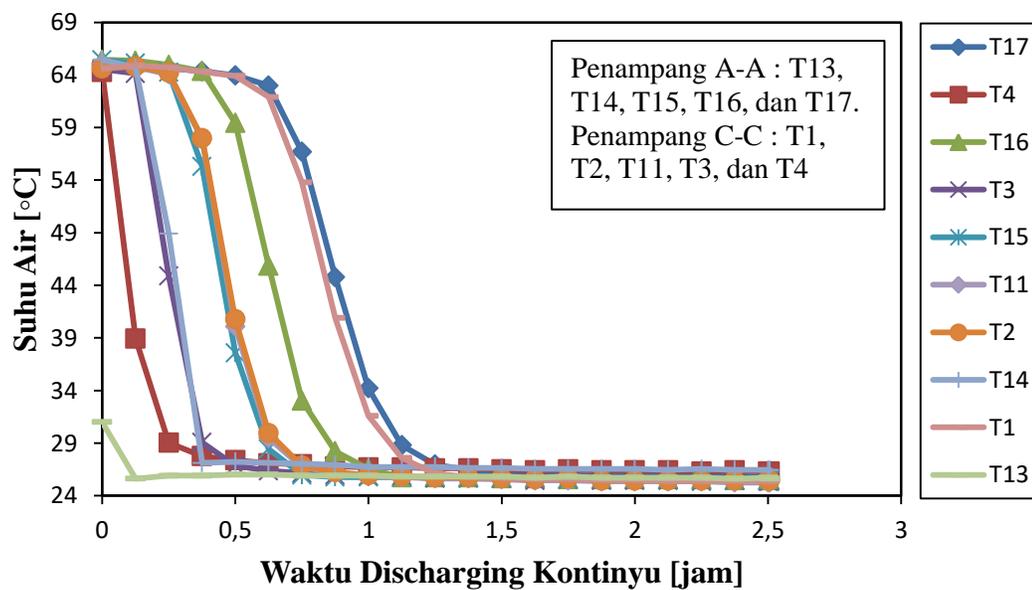
Data variasi debit air terkalibrasi dapat dilihat pada Lampiran 1. Setelah kalibrasi data suhu dan variasi debit air selesai, maka grafik yang akan didapat berupa : grafik evolusi suhu air pada tangki SWH, grafik perbandingan evolusi suhu, grafik pelepasan kalor kumulatif air, grafik laju pelepasan kalor air, dan grafik laju penurunan suhu air.

## 4.2. Evolusi Suhu Air Pada Tangki SWH

Pada proses *discharging* pengisian air ke dalam tangki menggunakan variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM. Proses *discharging* dilakukan hingga air didalam bak atau T28 mencapai suhu 35°C. Dari data hasil penelitian dapat dilihat evolusi suhu air terhadap waktu seperti berikut :

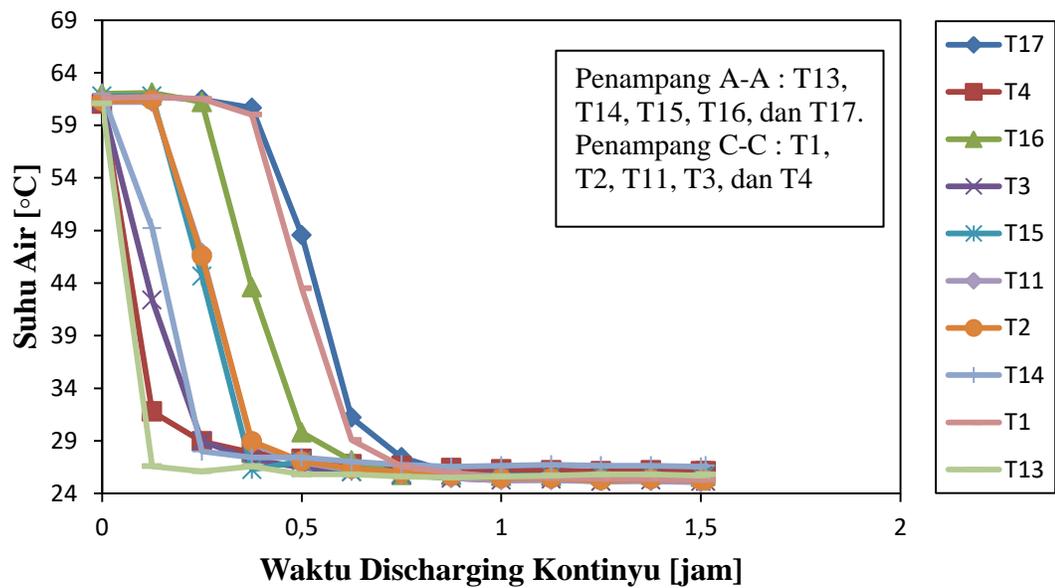
### 4.2.1. Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal

Penelitian dengan variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM, penampang A-A baris vertikal dan penampang C-C baris vertikal mengalami penurunan suhu karena beda suhu antara suhu didalam tangki dengan suhu *inlet* pada proses *discharging* kontinyu yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.

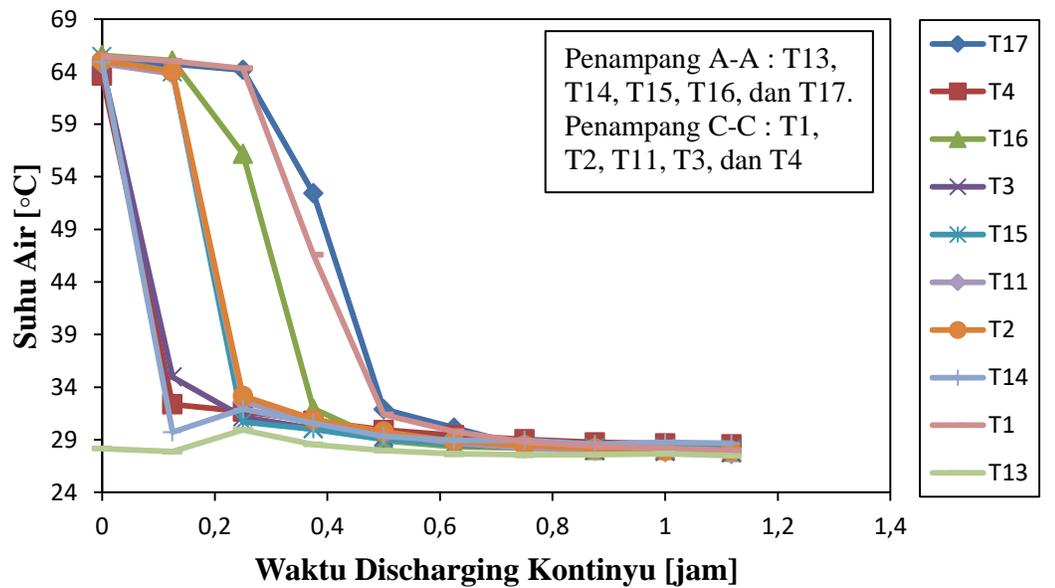


(a)

**Gambar 4.1** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal (a) 1 LPM

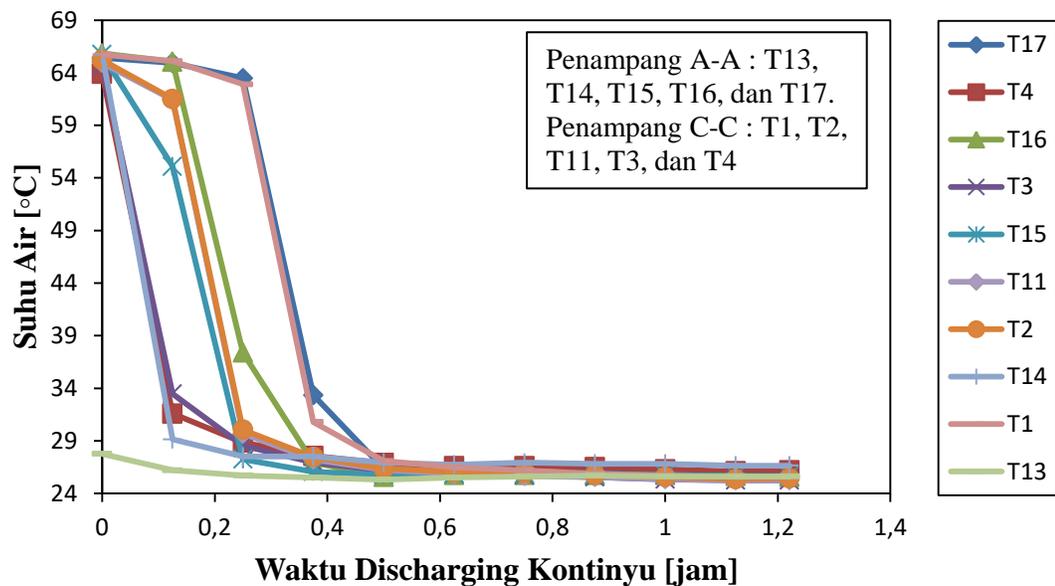


(b)



(c)

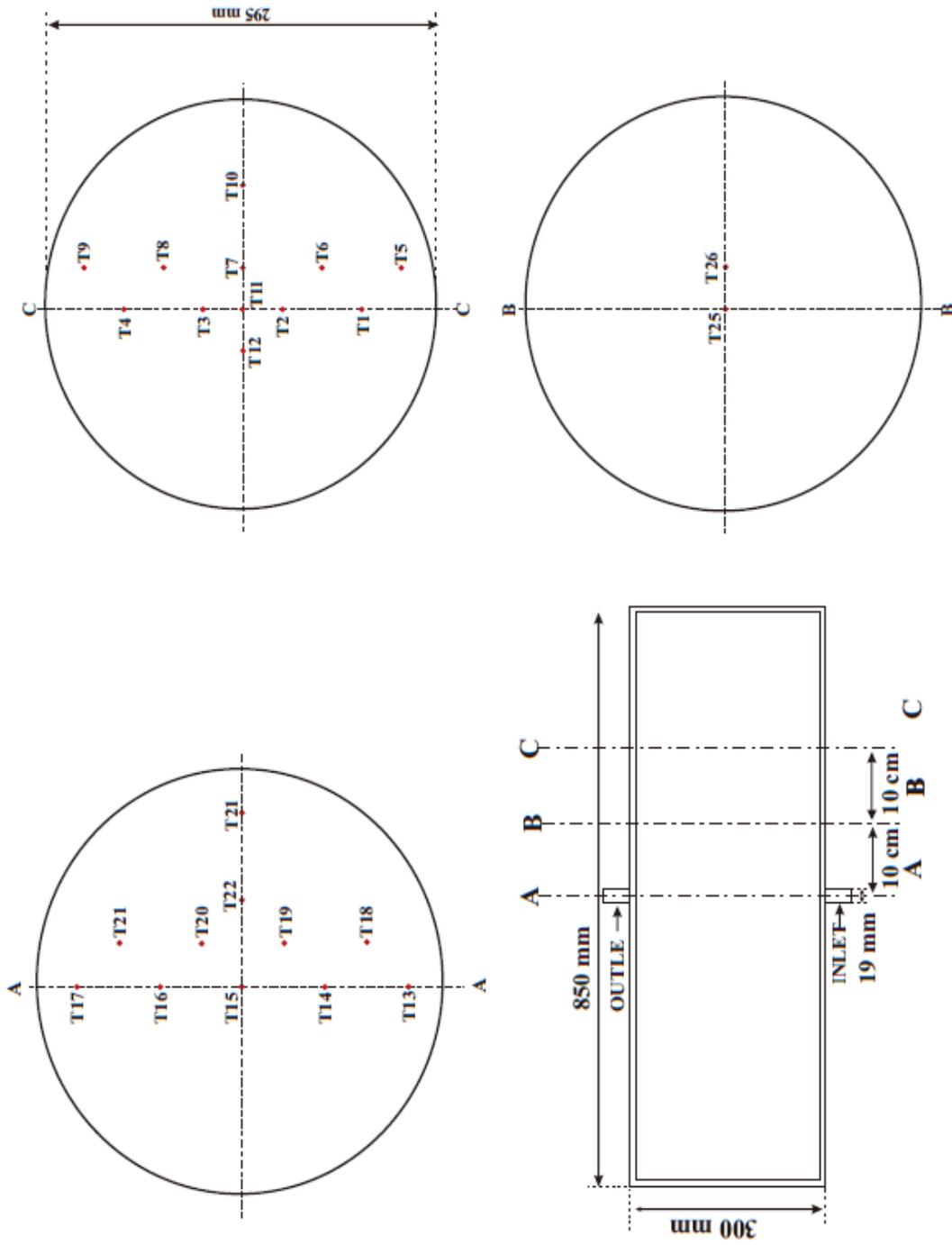
**Gambar 4.2** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal (b) 1,5 LPM (c) 2 LPM (lanjutan)



(d)

**Gambar 4.3** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Vertikal dan Penampang C-C Baris Vertikal (d) 2,5 LPM (lanjutan)

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Dari grafik dapat diketahui bahwa penurunan suhu di awal penelitian tidak sama. Penurunan suhu yang terjadi pada beberapa titik termokopel berlangsung cepat dan lambat. Penurunan suhu yang berlangsung cepat untuk semua variasi debit air adalah T13, T4, T3, dan T14. Sedangkan penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air adalah T15, T11, T2, T16, T1, dan T17. Jika diurutkan berdasarkan penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air maka urutannya adalah T13, T4, T3, T14, T15, T11, T2, T16, T1, dan T17. Aliran air umumnya akan lurus sehingga perpindahan kalor akan terjadi dari arah vertikal lalu menyebar sesuai dengan arah aliran air. Jika dilihat dari penempatan termokopel didalam tangki seperti pada Gambar 4.4, penurunan suhu untuk semua variasi debit air dari paling cepat ke yang paling lambat adalah



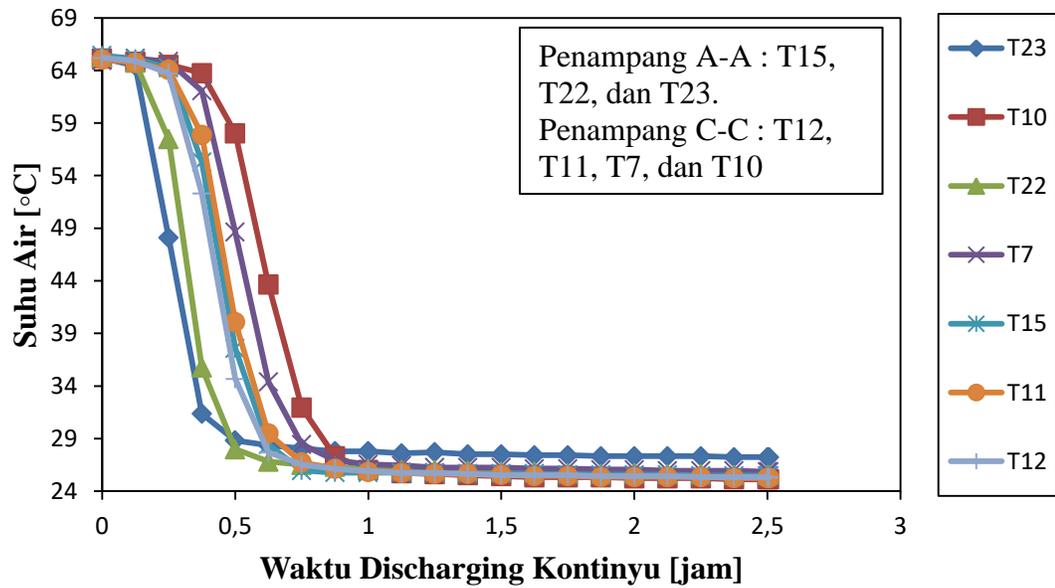
Gambar 4.4 Penempatan Termokopel

T13, T1, T14, T2, T15, T11, T3, T16, T4, dan T17 tetapi hasil pengujian tidak menunjukkan urutan tersebut. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki.

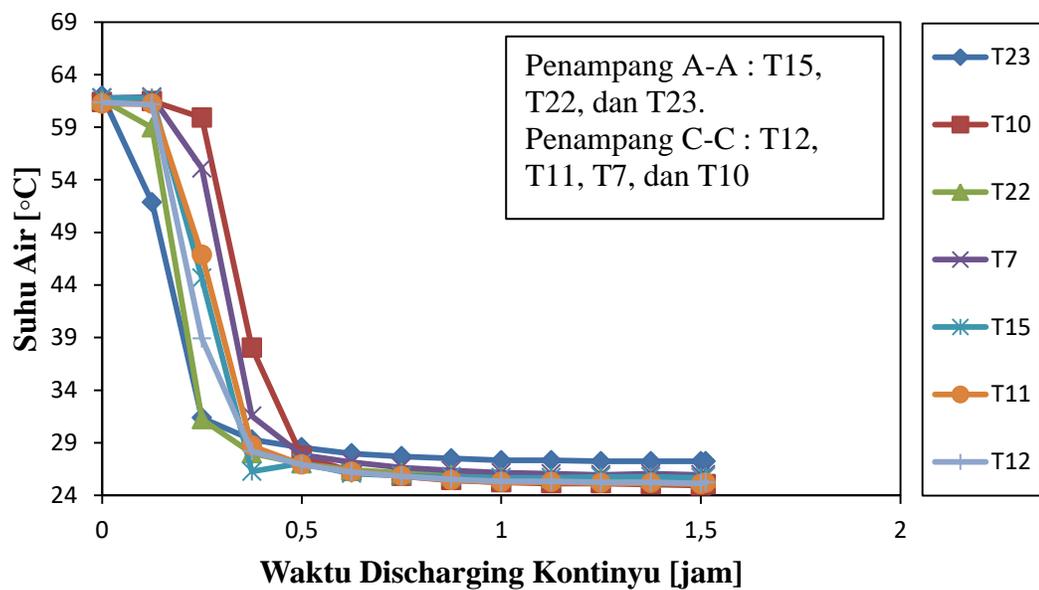
Ketika air masuk ke dalam tangki, air akan bersentuhan dengan T13 terlebih dahulu karena posisi T13 dekat dengan posisi masuknya air sehingga suhu T13 akan lebih cepat turun. T4 mengalami penurunan suhu cepat setelah T13 karena posisi T4 berdekatan dengan strimin penampang B-B bagian atas yang tidak memiliki termokopel sehingga T4 memiliki sedikit hambatan dan posisi T4 berdekatan dengan tempat masuk termokopel ke dalam tangki sehingga aliran air cenderung ke arah T4 karena hambatan di tempat masuk termokopel besar, dengan demikian proses transfer kalor yang terjadi pada T4 semakin cepat. Kemudian dengan aliran air akan mengalir ketempat yang hambatannya kecil lalu mengalir secara perlahan ke tempat yang hambatannya besar. T1 mengalami penurunan yang relatif lama karena posisinya berdekatan dengan strimin penampang B-B pada posisi tengah strimin tersebut terdapat termokopel, sehingga hambatannya lebih besar menyebabkan transfer kalor relatif lama. T17 mengalami penurunan suhu paling lama dari termokopel lain karena T17 berada pada posisi terjauh dari posisi masuknya air dan air yang mengalir ke arah T17 cenderung telah menerima kalor dari termokopel yang lain, sehingga transfer kalor yang terjadi pada T17 relatif lama karena T17 harus menunggu aliran air yang sedikit menerima kalor dari termokopel lain.

#### **4.2.2. Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Horizontal dan Penampang C-C Baris Horizontal**

Pada saat pengujian dengan variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM, penampang A-A baris horizontal dan penampang C-C baris horizontal mengalami penurunan suhu karena adanya beda suhu antara suhu didalam tangki dengan suhu *inlet* pada proses *discharging* kontinyu yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

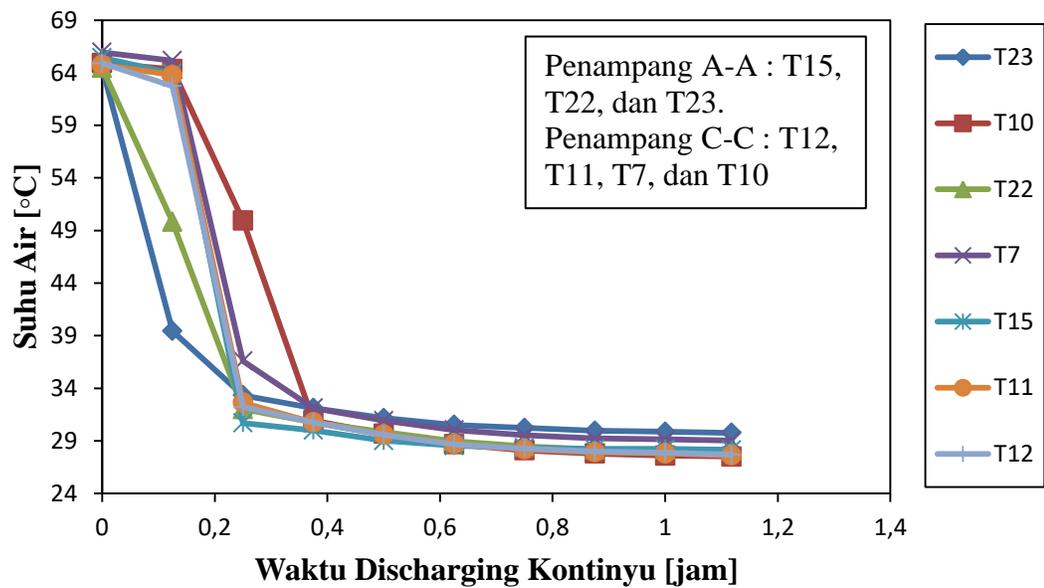


(a)

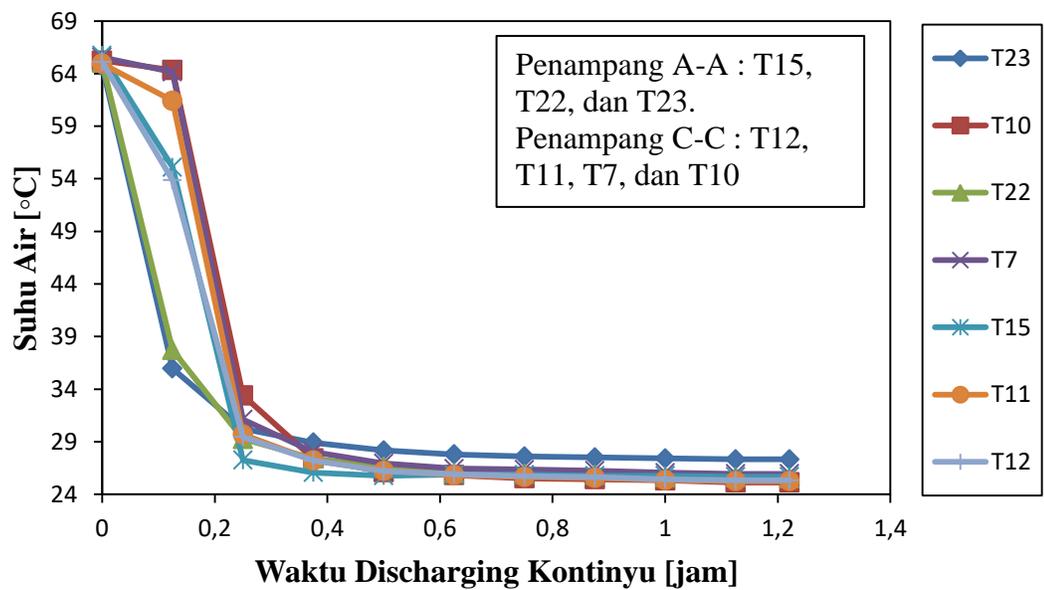


(b)

**Gambar 4.5** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Horizontal dan Penampang C-C Baris Horizontal (a) 1 LPM (b) 1,5 LPM



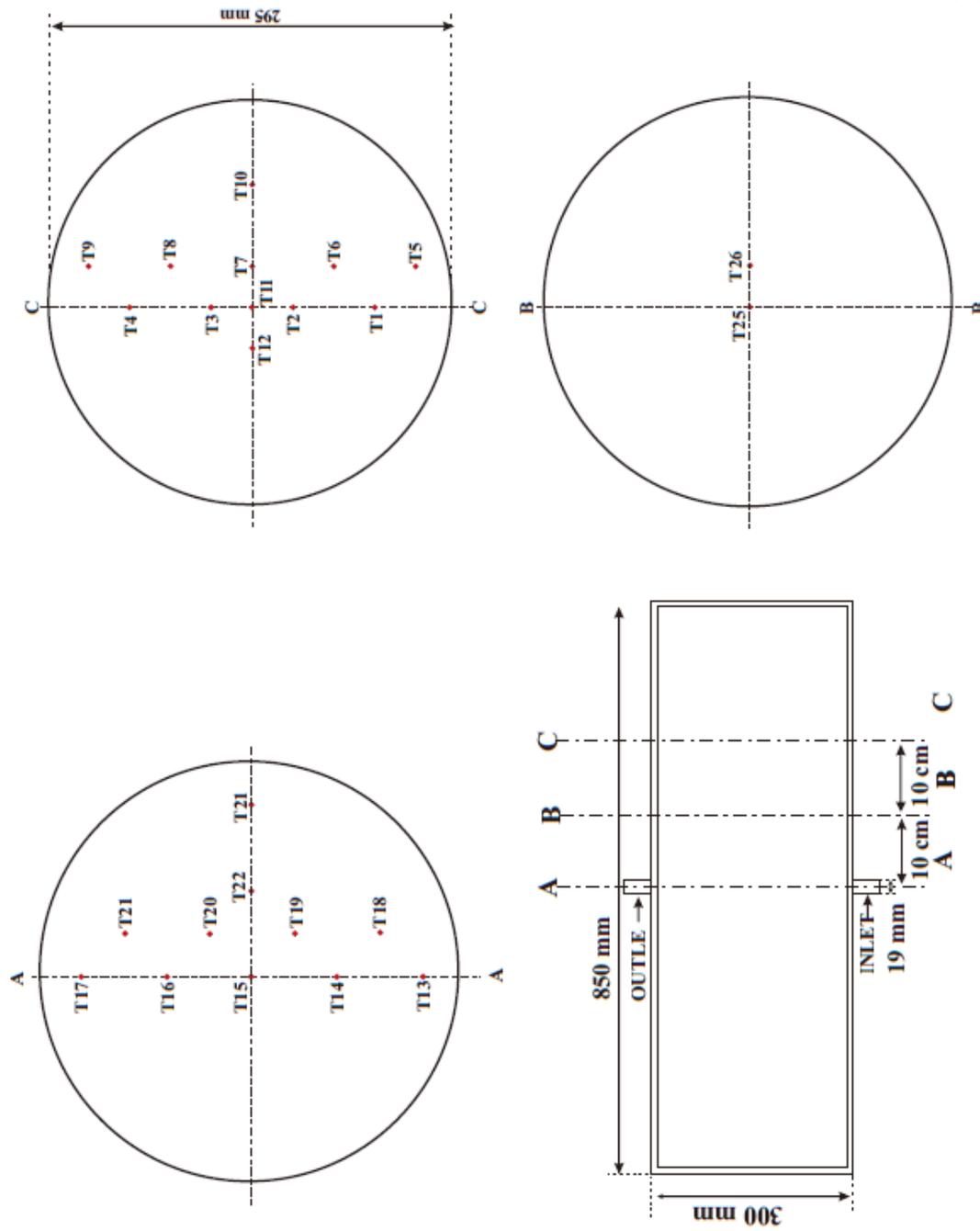
(c)



(d)

**Gambar 4.6** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-A Baris Horizontal dan Penampang C-C Baris Horizontal (c) 2 LPM (d) 2,5 LPM (lanjutan)

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Dari grafik dapat diketahui bahwa penurunan suhu di awal penelitian tidak sama. Penurunan suhu yang terjadi pada beberapa titik termokopel berlangsung cepat dan lambat. Urutan penurunan suhu berdasarkan penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air maka urutannya adalah T23, T22, T12, T15, T11, T7, dan T10. Aliran air pada arah horizontal umumnya menyebar sesuai dengan arah aliran air. Jika dilihat dari penempatan termokopel didalam tangki seperti pada Gambar 4.7, penurunan suhu untuk semua variasi debit air dari paling cepat ke yang paling lambat adalah T12, T15, T11, T7, T22, T10, dan T23 tetapi hasil pengujian tidak menunjukkan urutan tersebut. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki.

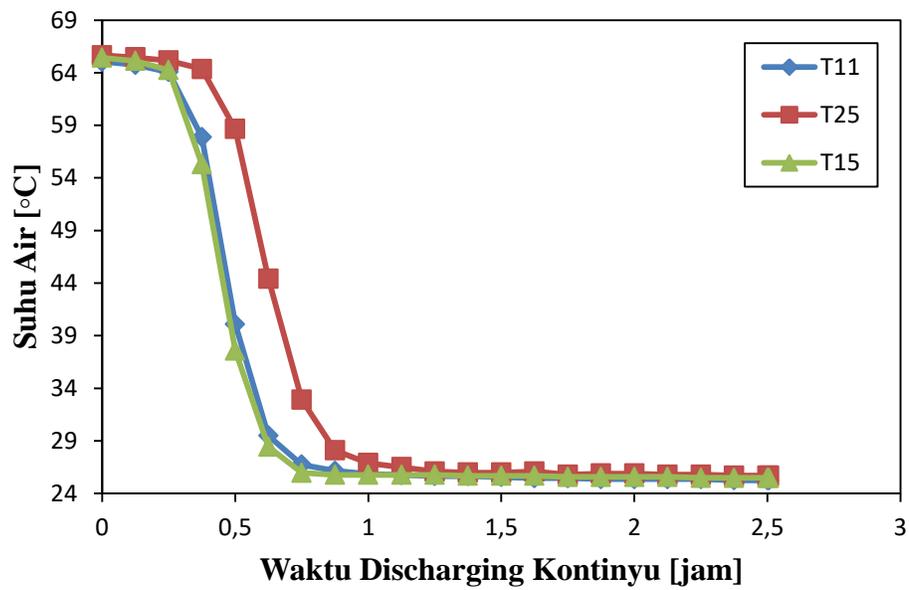


Gambar 4.7 Penempatan Termokopel

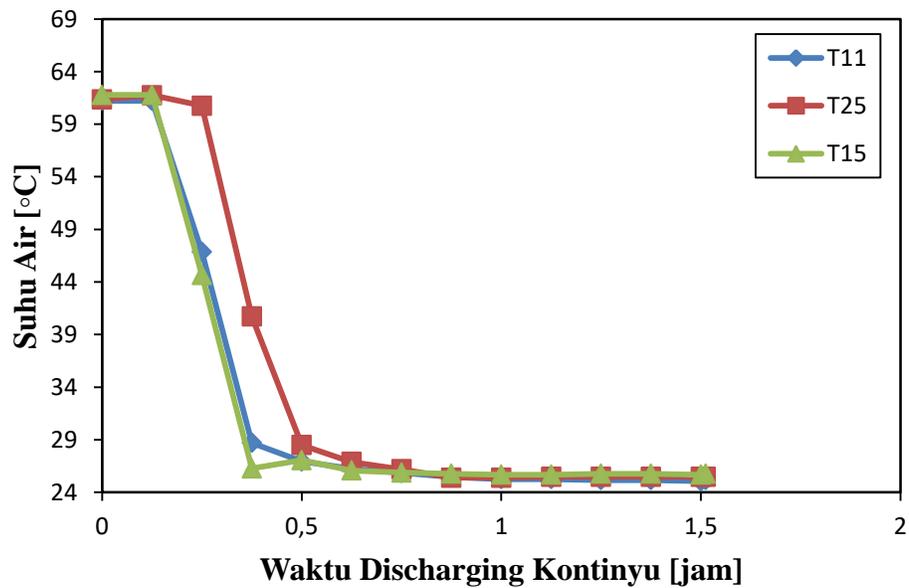
Pada posisi horizontal air akan memulai proses transfer kalor pada posisi termokopel yang memiliki hambatan kecil. Pada hasil penelitian terdapat T23 lebih cepat turun suhunya, hal ini terjadi karena T23 mentransfer kalornya ke tangki dan saat aliran air berada disekitar T23, air akan memulai transfer kalor dengan kalor yang sedikit akibat *heat loss* sehingga proses transfer kalor pada T23 lebih cepat. Kemudian aliran air yang menuju ke sekitar T23 memulai transfer kalor terlebih dahulu disekitar T22 saat sehingga proses transfer kalor T22 lebih cepat. Penurunan suhu selanjutnya terjadi pada T12, hal ini dikarenakan posisi T12 dekat dengan penampang B-B yang tidak memiliki termokopel sehingga hambatan disekitar T12 kecil sehingga proses transfer kalor lebih cepat. Selanjutnya aliran air terjadi disekitar T15 memiliki hambatan kecil yang menyebabkan transfer kalor pada T15. Aliran air menuju T11, T7, dan T10 berlangsung lama, hal ini terjadi karena T11 berdekatan dengan penampang B-B dimana penampang tersebut terdapat termokopel sehingga adanya hambatan besar yang menyebabkan aliran air lama mencapai T11 dan proses transfer kalor lama. Kemudian aliran air mengalir ke sekitar T7 dan terjadi proses transfer kalor pada T7. Lalu mengarah ke T10 sehingga transfer kalor T10 menjadi yang paling lambat.

#### **4.2.3. Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-B-C Baris Aksial**

Pada saat pengujian dengan variasi debit air 1; 1,5; 2; dan 2,5 LPM, penampang A-B-C baris aksial mengalami penurunan suhu karena adanya perbedaan pada suhu antara suhu didalam tangki dengan suhu *inlet* pada proses *discharging* kontinyu yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

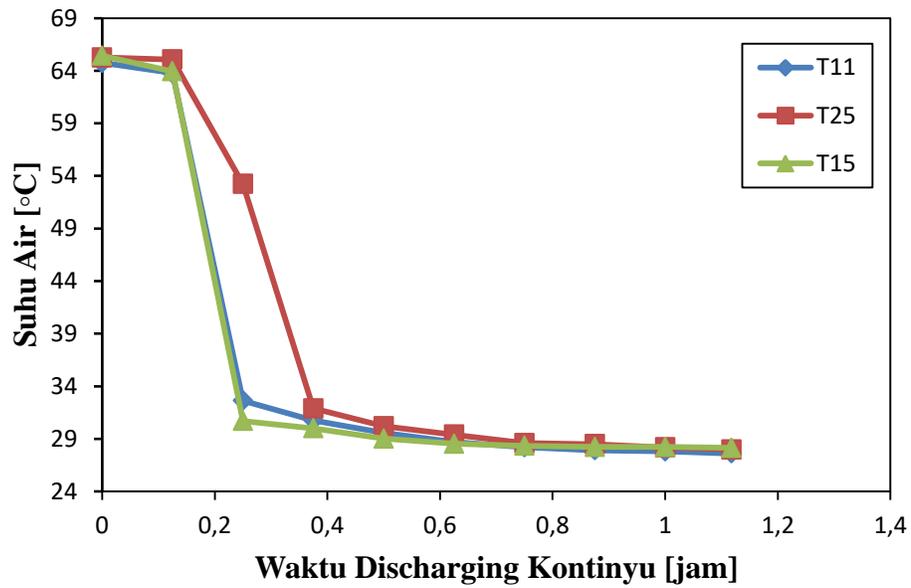


(a)

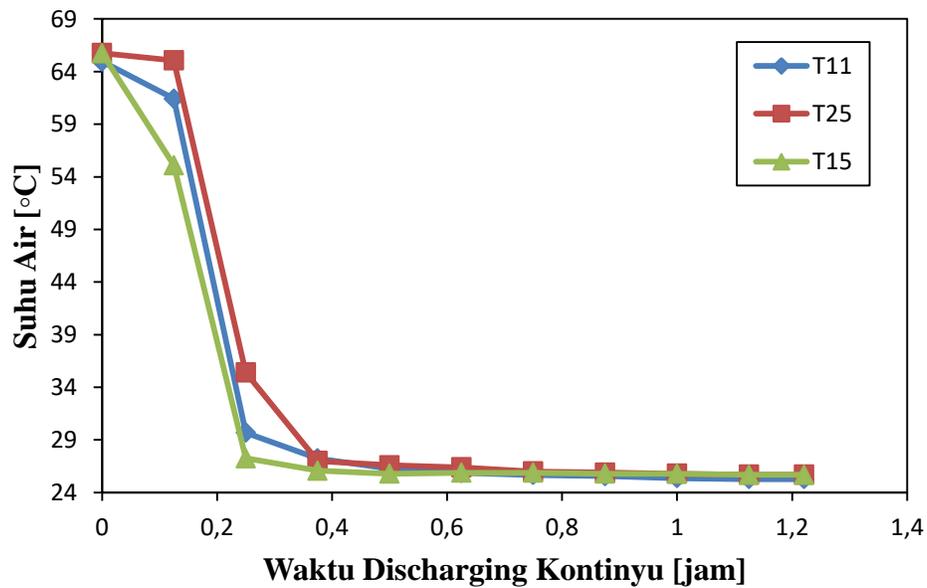


(b)

**Gambar 4.8** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-B-C Baris Aksial (a) 1 LPM  
(b) 1,5 LPM



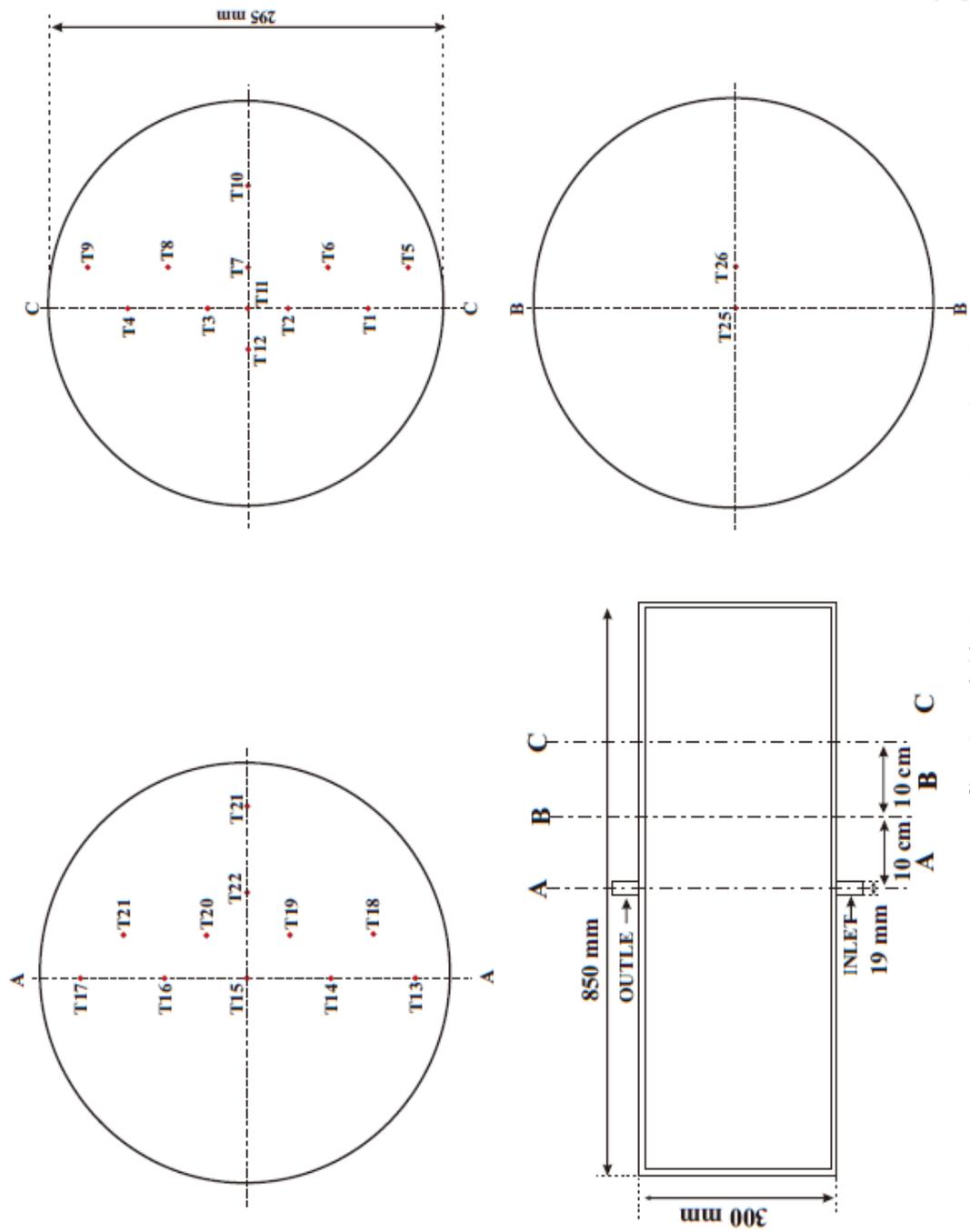
(c)



(d)

**Gambar 4.9** Evolusi Suhu Air Terhadap Penampang A-B-C Baris Aksial (c) 2 LPM  
(d) 2,5 LPM (lanjutan)

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa selama air dialirkan terjadi penurunan suhu pada masing-masing titik termokopel tiap variasi debit air. Dari grafik dapat diketahui bahwa penurunan suhu di awal penelitian tidak sama. Penurunan suhu yang terjadi pada beberapa titik termokopel berlangsung cepat dan lambat. Urutan penurunan suhu berdasarkan penurunan suhu air yang berlangsung cepat ke penurunan suhu yang berlangsung lambat untuk semua variasi debit air maka urutannya adalah T15, T11, dan T25. Aliran air pada arah aksial umumnya menyebar sesuai dengan arah aliran air. Jika dilihat dari penempatan termokopel didalam tangki seperti pada Gambar 4.10, penurunan suhu untuk semua variasi debit air dari paling cepat ke yang paling lambat adalah T15, T25, dan T11 tetapi hasil pengujian tidak menunjukkan urutan tersebut. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh hambatan yang dilalui air didalam tangki dan *heat loss*.



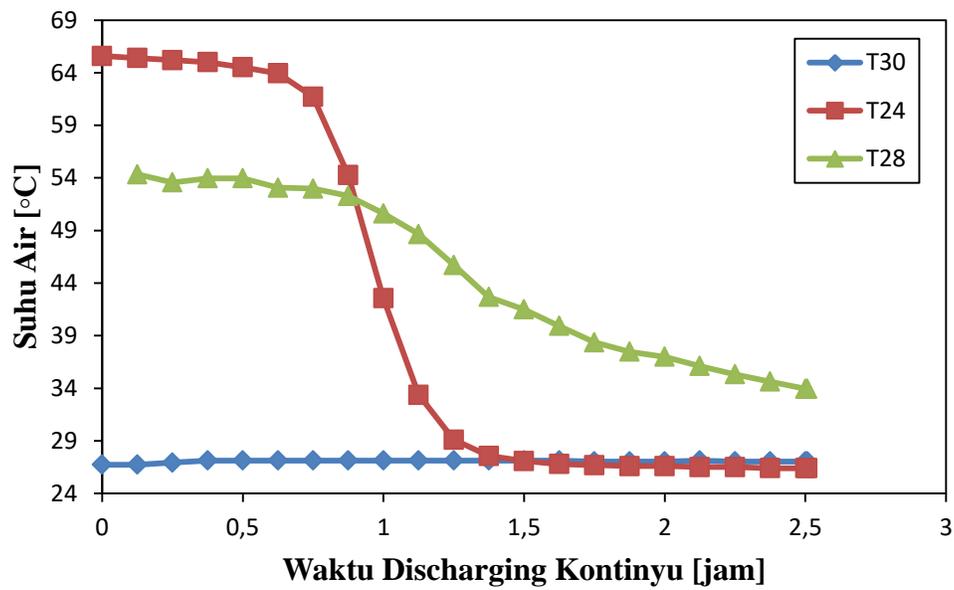
Gambar 4.10 Penempatan Termokopel

Aliran air yang terjadi pada arah aksial mengalir dari daerah yang memiliki hambatan kecil ke daerah yang memiliki hambatan besar. Transfer kalor yang terjadi pada T15 lebih cepat karena posisi T15 dekat dengan masuknya air ke dalam tangki yang menyebabkan proses transfer kalor lebih dahulu terjadi di sekitar T15. Kemudian T11 mengalami penurunan suhu yang cepat setelah T15, hal ini terjadi karena T11 dekat dengan dinding tangki sehingga air disekitar T11 mentransfer kalor ke tangki dan saat aliran air berada disekitar T11 maka proses transfer kalor akan berlangsung lebih cepat karena *heat loss* yang terjadi mengakibatkan jumlah kalor yang dimiliki air berkurang. T25 mengalami transfer kalor yang paling lama karena posisi T25 yang berada didekat penampang A-A yang memiliki banyak termokopel mengakibatkan hambatan disekitar T25 besar dan aliran air menuju ke sekitar T25 berlangsung lambat sehingga proses transfer kalor lambat.

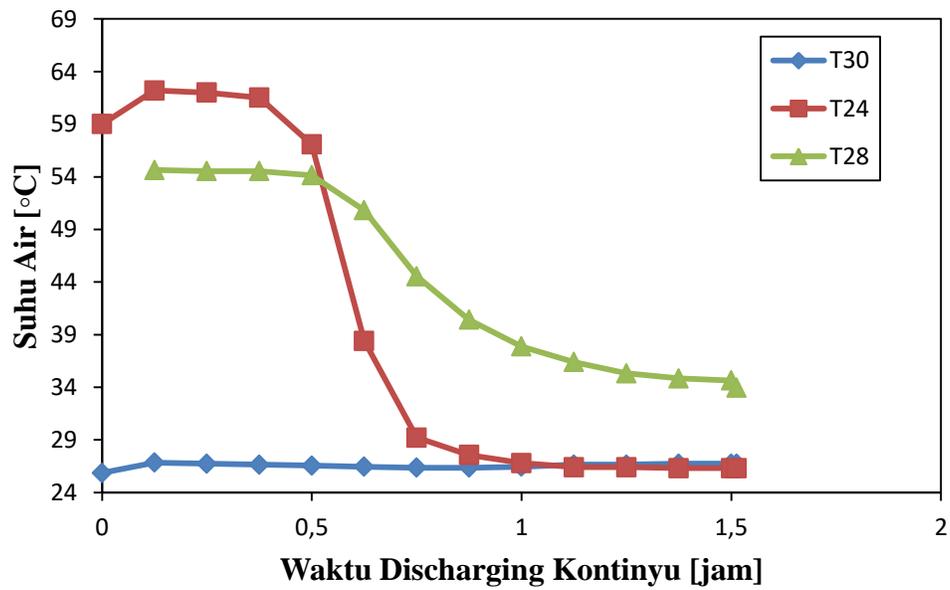
#### **4.2.4. Evolusi Suhu Air *Discharging* Kontinyu**

Pada saat pengujian dengan variasi debit air, distribusi suhu pada proses *discharging* kontinyu mengalami penurunan suhu karena adanya perbedaan pada suhu antara suhu didalam tangki dengan suhu *inlet* yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12. Pengujian ini diakhiri ketika suhu pada T28 mencapai 35°C. Termokopel yang digunakan untuk proses *discharging* kontinyu yaitu :

1. T30 merupakan suhu *inlet* air.
2. T24 merupakan suhu yang keluar dari tangki SWH.
3. T28 merupakan suhu pada bak air.

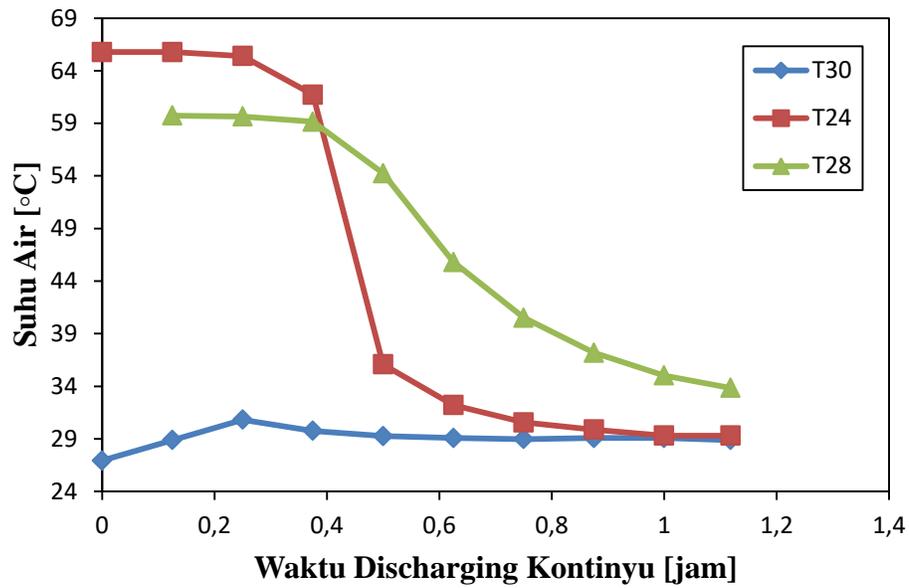


(a)

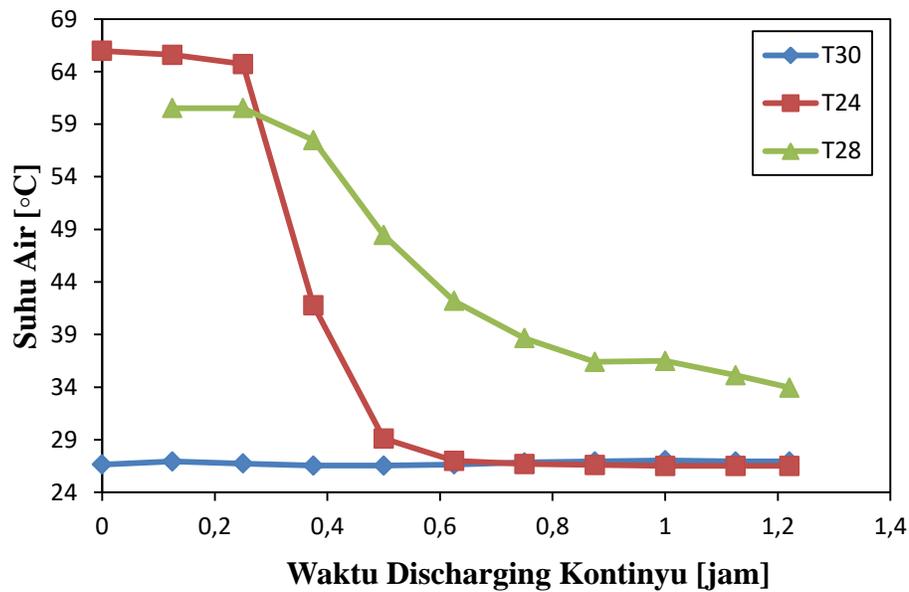


(b)

**Gambar 4.11** Evolusi Suhu Air Terhadap Proses *Discharging* Kontinyu  
(a) 1 LPM (b) 1,5 LPM



(c)



(d)

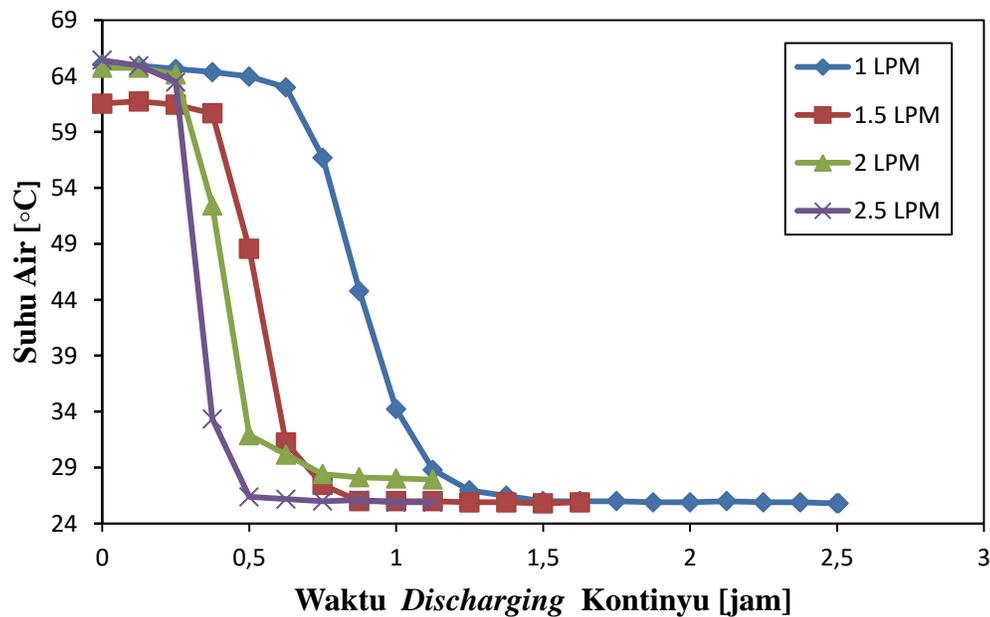
**Gambar 4.12** Evolusi Suhu Air Terhadap Proses *Discharging* Kontinyu  
(c) 2 LPM (d) 2,5 LPM (lanjutan)

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa penurunan suhu yang signifikan tiap variasi debit memiliki waktu yang berbeda. Dimana penurunan suhu signifikan tercepat umumnya terjadi pada aliran debit yang besar. Hasil pengujian variasi debit 1 LPM membutuhkan waktu  $\pm 0,8$  jam atau  $\pm 48$  menit untuk menurunkan suhu secara signifikan karena dengan aliran debit yang rendah proses transfer kalor cenderung lama hal ini disebabkan oleh aliran debit memerlukan waktu yang lama untuk memenuhi tangki berukuran 60 liter. Variasi debit 1,5 LPM membutuhkan waktu 0,5 jam atau 30 menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini menandakan bahwa proses transfer kalor yang terjadi bertambah cepat karena waktu yang diperlukan untuk memenuhi tangki mulai bertambah cepat. Variasi debit 2 LPM membutuhkan waktu  $\pm 0,36$  jam atau  $\pm 27$  menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini juga menunjukkan bahwa proses transfer kalor yang terjadi lebih cepat karena waktu yang diperlukan untuk memenuhi tangki cepat. Variasi 2,5 LPM membutuhkan waktu  $\pm 0,28$  jam atau  $\pm 21$  menit untuk menurunkan suhu secara signifikan, hal ini membuktikan bahwa proses transfer kalor menjadi sangat cepat karena waktu untuk mengisi tangki relatif cepat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian sesuai dengan fenomena pada umumnya.

Pada grafik 1,5 LPM terlihat bahwa pada menit ke-0 hingga 10 menit suhu mengalami kenaikan, hal ini disebabkan oleh adanya *heat loss* yang besar pada sisi atas tangki selama pergantian sistem dari sistem *charging* ke sistem *discharging*. Ketika variasi debit air dialirkan, air panas dari sisi tengah tangki bergerak ke sisi atas tangki karena adanya beda densitas, hal ini menyebabkan kenaikan suhu pada sisi atas tangki sehingga selama 10 menit pertama grafik suhu naik.

### 4.3. Perbandingan Evolusi Suhu

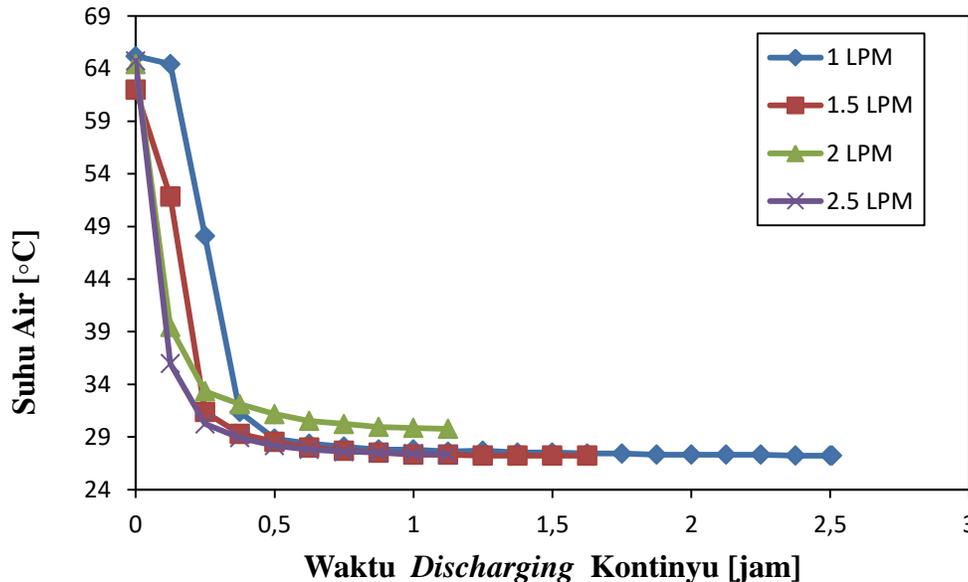
#### 4.3.1. Perbandingan Antara Penampang A-A Baris Vertikal Pada Suhu Keluar Tangki T17 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu



**Gambar 4.13** Perbandingan Evolusi Suhu Air Pada Penampang A-A Baris Vertikal Pada Termokopel T17 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat evolusi suhu yang terjadi pada penampang A-A baris vertikal yang terletak pada termokopel 17. Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu yang terjadi disetiap variasi debit air berbeda-beda. Urutan waktu penurunan suhu dari penurunan suhu lambat hingga penurunan suhu cepat adalah 1 LPM, 1,5 LPM, 2 LPM, dan 2,5LPM. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa untuk arah vertikal penurunan suhu dipengaruhi oleh aliran debit. Semakin besar debit air yang dialirkan, maka penurunan suhu akan semakin cepat. Sedangkan semakin kecil debit air yang dialirkan, maka penurunan suhu akan semakin lambat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa transfer kalor pada pengujian ini akan semakin cepat seiring dengan bertambahnya variasi debit air.

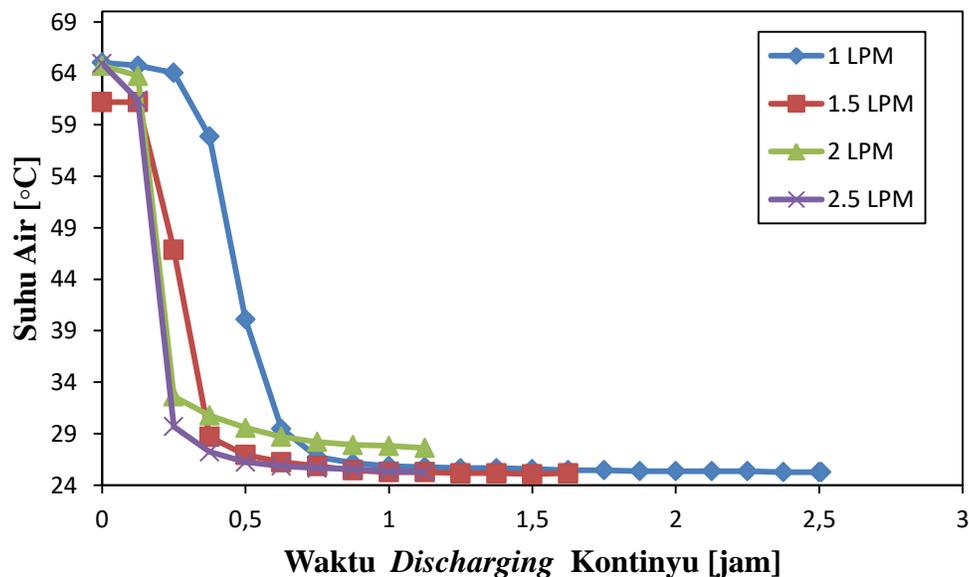
### 4.3.2. Perbandingan Antara Penampang A-A Baris Horizontal Pada T23 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu



**Gambar 4.14** Perbandingan Evolusi Suhu Air Pada Penampang A-A Baris Horizontal Pada Termokopel T23 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu

Berdasarkan Gambar 4.14, dapat dilihat evolusi suhu yang terjadi pada penampang A-A baris horizontal pada termokopel 23. Dimana penurunan suhu yang terjadi untuk masing-masing variasi debit air berbeda-beda. Urutan penurunan suhu dari penurunan suhu terlambat hingga penurunan suhu tercepat adalah 1 LPM, 1,5 LPM, 2 LPM, dan 2,5 LPM. Hal ini dapat terjadi karena penurunan suhu dipengaruhi oleh aliran debit air. Jadi, semakin besar aliran debit air, maka penurunan suhu yang akan terjadi semakin cepat. Sedangkan semakin kecil aliran debit airnya, maka penurunan suhu yang akan terjadi akan semakin lambat. Hasil pengujian menunjukkan hal tersebut. Sehingga, pertukaran kalor yang terjadi semakin cepat seiring dengan bertambahnya debit air.

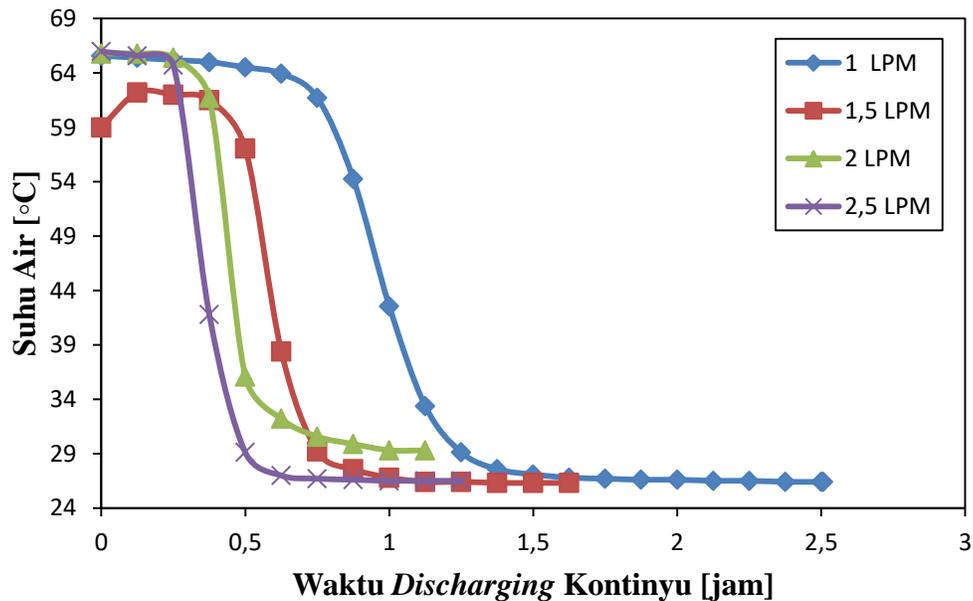
### 4.3.3. Perbandingan Antara Penampang C-C Baris Aksial Pada T11 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu



**Gambar 4.15** Perbandingan Evolusi Suhu Air Pada Penampang C-C Baris Aksial Pada Termokopel T11 Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat evolusi suhu pada penampang C-C baris aksial pada termokopel 11. Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu pada masing-masing variasi debit air berbeda-beda. Jika diurutkan berdasarkan waktu penurunan suhu lambat hingga waktu penurunan suhu cepat adalah 1 LPM, 1,5 LPM, 2 LPM, dan 2,5 LPM. Hal ini disebabkan oleh variasi debit air yang digunakan. Variasi debit air yang dialirkan ke tangki mempunyai waktu yang berbeda-beda untuk memenuhi tangki. Semakin besar aliran debit air maka akan semakin cepat tangki terisi sehingga penurunan suhu semakin cepat dan sebaliknya semakin kecil aliran debit air maka akan semakin lambat tangki terisi sehingga penurunan suhu semakin lambat. Hal ini lah yang menyebabkan penurunan suhu yang berbeda. Penurunan suhu yang cepat menandakan bahwa transfer kalor yang terjadi cepat dan penurunan suhu yang lambat menandakan bahwa transfer kalor yang lambat.

#### 4.3.4. Perbandingan Antara Penurunan Suhu *Discharging* Kontinyu Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu



**Gambar 4.16** Perbandingan Penurunan Suhu *Discharging* Kontinyu Terhadap Waktu Proses *Discharging* Kontinyu

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa penurunan suhu secara signifikan pada tiap variasi debit air berbeda. Hal tersebut diakibatkan oleh aliran debit air. Semakin kecil debit air yang dialirkan ke dalam tangki, maka penurunan suhu secara signifikan akan lambat karena transfer kalor didalam tangki akan berlangsung lambat akibat aliran air yang masuk lambat. Semakin besar aliran debit air yang dialirkan ke dalam tangki, maka penurunan suhu secara signifikan akan semakin cepat akibat transfer kalor yang terjadi lebih cepat karena aliran air yang masuk lebih cepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penurunan suhu secara signifikan yang berlangsung lambat hingga berlangsung cepat adalah 1 LPM, 1,5 LPM, 2 LPM, dan 2,5 LPM.

#### 4.4. Pelepasan Kalor Kumulatif Air

Pelepasan kalor kumulatif air dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4), maka nilai pelepasan kalor kumulatif air untuk debit air 1 LPM sebesar :

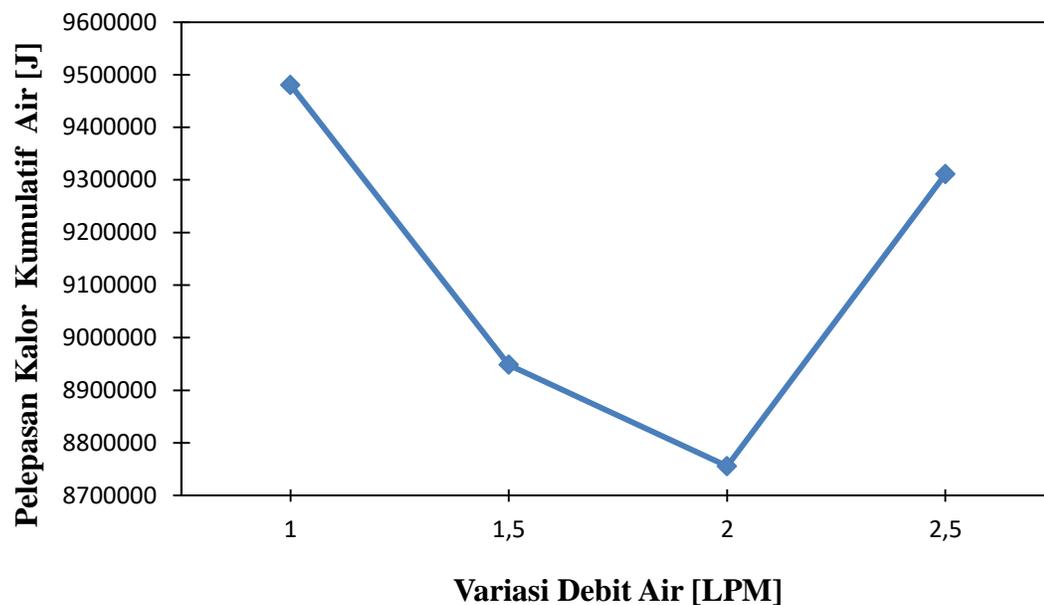
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kum}} &= m \cdot c_p \cdot (T_i - T_f) \\
 &= \rho \cdot V_{\text{tangki}} \cdot c_p \cdot (T_{\text{awal rata-rata tangki}} - T_{\text{akhir rata-rata tangki}}) \\
 &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,060083 \text{ m}^3 \cdot 4180 \text{ J/kg.K} \cdot (63,59539 - 25,84684) \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{kum}} = 9.480.425,39 \text{ J}$$

dengan menggunakan persamaan yang sama, maka hasil pelepasan kalor kumulatif air untuk masing-masing variasi debit air dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

**Tabel 4.1** Nilai Pelepasan Kalor Kumulatif Air

$\dot{V}$ (LPM)	$Q_{\text{kum, air}}$ (J)	$\bar{T}_i$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\bar{T}_f$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\bar{\Delta T}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t$ (s)
1	9.480.425,39	63,59539	25,84684	37,74855	9025
1,5	8.948.498,83	61,48827	25,85771	35,63056	5445
2	8.755.842,78	63,11388	28,25043	34,86345	4025
2,5	9.310.876,10	62,96481	25,89137	37,07344	4395



**Gambar 4.17** Pelepasan Kalor Kumulatif Air

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa pelepasan kalor kumulatif air setiap variasi debit air berbeda-beda. Pelepasan kalor kumulatif air dengan nilai terbesar hingga terkecil adalah 1 LPM, 2,5 LPM, 1,5 LPM, dan 2 LPM. Pelepasan kalor kumulatif air dipengaruhi oleh beda temperatur rata-rata tangki dimana pelepasan kalor kumulatif air berbanding lurus dengan beda temperatur rata-rata tangki. Semakin besar beda temperatur rata-rata tangki maka akan semakin besar nilai pelepasan kalor kumulatif air karena kalor berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Sedangkan semakin kecil beda temperatur rata-rata tangki maka semakin kecil nilai pelepasan kalor kumulatif airnya. Pada Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa nilai pelepasan kalor kumulatif air pada variasi 2,5 LPM lebih besar dari variasi debit 2 LPM. Hal tersebut disebabkan oleh adanya pengaruh gelembung udara yang mengalir pada rotameter. Pada saat memulai pengujian variasi 2,5 LPM, terdapat masalah dimana ketika katup *supply* air dibuka terdapat gelembung udara sehingga pada pembacaan rotameter terdapat banyak gelembung udara yang kemudian masuk ke dalam tangki. Ketika didalam tangki gelembung udara tersebut ikut terbawa aliran air.

Hal tersebut menjadikan air cenderung terhambat untuk melakukan proses tranfer kalor, karena nilai kalor jenis udara lebih kecil dari kalor jenis air. Sehingga air memerlukan waktu yang lama untuk melakukan proses transfer kalor didalam tangki. Lamanya waktu yang dibutuhkan air untuk transfer kalor menyebabkan suhu akhir rata-rata tangki lebih rendah. Suhu akhir rata-rata tangki mempengaruhi beda temperatur, karena semakin kecil suhu akhir rata-rata tangki maka beda temperatur akan semakin besar sehingga hal tersebut menyebabkan nilai pelepasan kalor kumulatif air variasi debit 2,5 LPM lebih besar daripada variasi debit 2 LPM.

#### 4.5. Laju Pelepasan Kalor Air

Laju pelepasan kalor air dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9), maka nilai laju pelepasan kalor air untuk debit air 1 LPM sebesar :

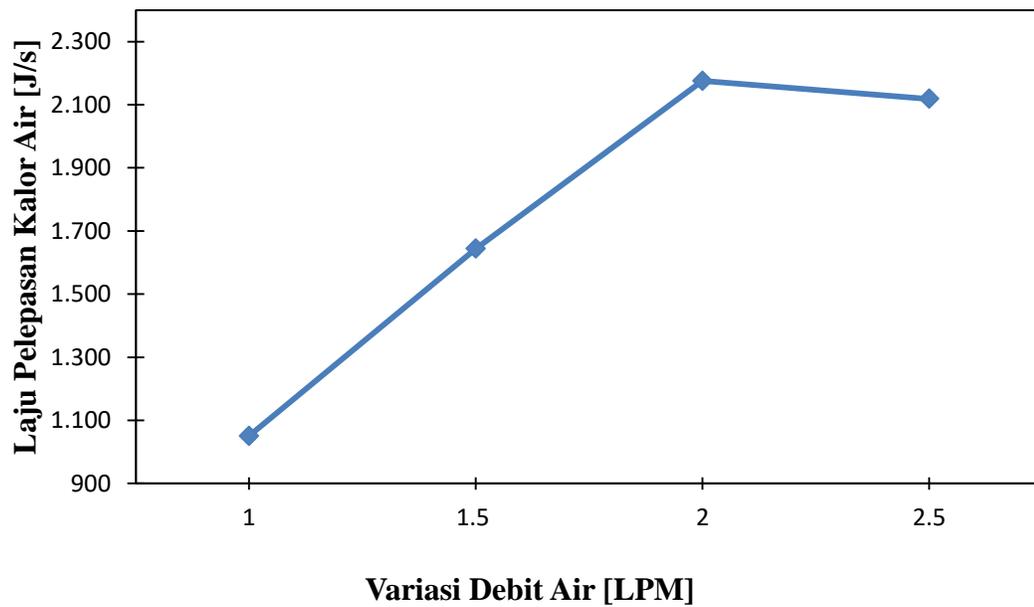
$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \frac{Q}{\Delta t} \\ &= \frac{Q_{\text{kum}}}{t_{\text{total}}} \\ &= \frac{9.480.425,39 \text{ J}}{9025 \text{ s}}\end{aligned}$$

$$\dot{Q} = 1.050,46 \text{ J/s}$$

dengan menggunakan persamaan yang sama, maka hasil laju pelepasan kalor air untuk masing-masing variasi debit air dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

**Tabel 4.2** Nilai Laju Pelepasan Kalor Air

Laju Pelepasan						
$\dot{V}$ (LPM)	Kalor Air ( $\dot{Q}$ )	$Q_{\text{kum, air}}$ (J)	$\bar{T}_i$ (°C)	$\bar{T}_f$ (°C)	$\bar{\Delta T}$ (°C)	$\Delta t$ (s)
1	1.050,46	9.480.425,39	63,59539	25,84684	37,74855	9025
1,5	1.643,43	8.948.498,83	61,48827	25,85771	35,63056	5445
2	2.175,36	8.755.842,78	63,11388	28,25043	34,86345	4025
2,5	2.118,52	9.310.876,10	62,96481	25,89137	37,07344	4395

**Gambar 4.18** Laju Pelepasan Kalor Air

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa laju pelepasan kalor air pada debit air rendah lebih kecil daripada laju pelepasan kalor air pada debit air tinggi. Hal ini disebabkan oleh waktu dan nilai pelepasan kalor kumulatif air. Laju pelepasan kalor air berbanding terbalik terhadap waktu dan berbanding lurus terhadap nilai pelepasan kalor kumulatif air sehingga semakin kecil nilai pelepasan kalor kumulatif air yang

diperlukan dan semakin besar waktu yang diperlukan untuk transfer kalor maka laju pelepasan kalor air akan semakin kecil. Pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa nilai laju pelepasan kalor air pada debit 2,5 LPM lebih kecil daripada debit 2 LPM. Hal ini disebabkan oleh waktu yang diperlukan untuk transfer kalor pada variasi debit air 2,5 LPM lebih lama daripada transfer kalor pada variasi debit 2 LPM. Lamanya waktu untuk proses transfer kalor pada debit air 2,5 LPM disebabkan oleh gelembung udara. Gelembung udara menghambat proses transfer kalor karena nilai kalor jenisnya lebih kecil dari nilai kalor jenis air.

#### 4.6. Laju Penurunan Suhu Air

Laju penurunan suhu air dapat dihitung menggunakan gradien suhu, maka nilai laju penurunan suhu air untuk debit air 1 LPM sebesar :

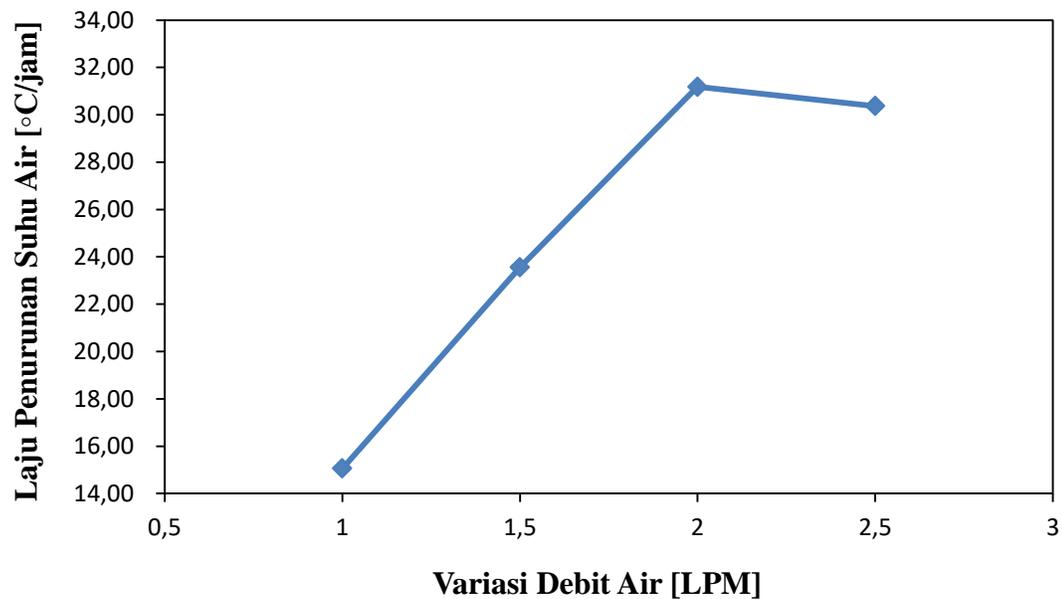
$$\begin{aligned} \text{Laju penurunan suhu} &= \frac{(\bar{T}_{\text{awal}} - \bar{T}_{\text{akhir}}) \times 3600}{t_{\text{total}}} \\ &= \frac{(63,59539 - 25,84684)^\circ\text{C} \times 3600}{9025 \text{ s}} \end{aligned}$$

$$\text{Laju penurunan suhu} = 1.050,46 \text{ }^\circ\text{C/jam}$$

dengan menggunakan persamaan yang sama, maka hasil laju penurunan suhu air untuk masing-masing variasi debit air dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

**Tabel 4.3** Nilai Laju Penurunan Suhu Air

Laju Penurunan						
$\dot{V}$ (LPM)	Suhu Air ( $^\circ\text{C/jam}$ )	$\bar{T}_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\bar{T}_f$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\bar{\Delta T}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t$ (s)	
1	15,06	63,59539	25,84684	37,74855	9025	
1,5	23,56	61,48827	25,85771	35,63056	5445	
2	31,18	63,11388	28,25043	34,86345	4025	
2,5	30,37	62,96481	25,89137	37,07344	4395	



**Gambar 4.19** Laju Penurunan Suhu Air

Dari Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa laju penurunan suhu untuk debit air rendah lebih kecil daripada laju penurunan suhu dengan debit air tinggi. Hal ini disebabkan oleh beda temperatur dan waktu. Laju penurunan suhu berbanding lurus dengan beda temperatur dan berbanding terbalik dengan waktu. Debit air rendah memerlukan waktu yang lama untuk proses transfer kalor sehingga membuat beda temperatur air semakin besar. Selain itu, untuk debit air tinggi memerlukan waktu yang relatif singkat untuk proses transfer kalor sehingga beda temperatur yang dihasilkan relatif kecil. Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa nilai laju penurunan suhu untuk debit air 2,5 LPM lebih kecil daripada debit 2 LPM. Hal ini dapat terjadi karena debit air 2,5 LPM memerlukan waktu yang lama untuk proses transfer kalor pada tangki karena adanya gelembung udara pada tangki. Akibat dari lamanya proses transfer kalor di tangki menyebabkan suhu akhir rata-rata pada tangki rendah. Hal tersebut mempengaruhi beda temperatur pada tangki. Beda temperatur yang besar dan waktu untuk transfer kalor lama mengakibatkan laju penurunan suhu 2,5 LPM lebih kecil daripada laju penurunan suhu 2 LPM.