

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kalor yang di lepaskan oleh air yang berada didalam *ice bank* dan kalor yang diterima oleh es sehingga es balok habis.

4.1.1 Perhitungan Data Pengukuran Dengan Variasi Frekuensi Listrik.

Perhitungan data dari hasil pengukuran dengan variasi frekuensi listrik ini terdiri dari perhitungan data pengukuran I, pengukuran II dan pengukuran III. Berikut ini contoh perhitungan data pengukuran I.

- Dimensi es balok yang digunakan adalah panjang 100 cm, lebar 25 cm dan tinggi 25 cm. Maka Volume es balok adalah:

$$\begin{aligned}V_{es\ balok} &= panjang \times lebar \times tinggi \\ &= 100[cm] \times 25[cm] \times 25[cm] \\ &= 62.500 [cm^3] \\ &= 0,0625[m^3]\end{aligned}$$

- Dengan mengetahui bahwa massa jenis es balok pada temperatur 0 °C adalah 916,2 kg/m³, maka massa es balok:

$$\begin{aligned}m_{es\ balok} &= V_{es\ balok} \times \rho_{es\ balok} \\ &= 0,0625[m^3] \times 916,2[\frac{kg}{m^3}] \\ &= 57,262[kg]\end{aligned}$$

- Air disirkulasikan didalam *ice bank*, dengan mengetahui panjang *ice bank* 390 cm, lebar *ice bank* 216 cm dan tinggi air dari dasar *ice bank* 25 m, maka volume air dalam *ice bank* adalah:

$$\begin{aligned}V_{air} &= panjang \times lebar \times tinggi \\ &= 390[cm] \times 216[cm] \times 25[cm] \\ &= 2.106.000 [cm^3] \\ &= 2,106[m^3]\end{aligned}$$

- Dengan diasumsikan air memiliki massa jenis 1000 kg/m^3 , maka massa air didalam *ice bank* adalah:

$$\begin{aligned} m_{air} &= V_{air} \times \rho_{air} \\ &= 2,106[\text{m}^3] \times 1000\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \\ &= 2106[\text{kg}] \end{aligned}$$

- Kalor yang dilepas oleh air dalam *ice bank*.

Diketahui:

$$m_{air} = 2106 \text{ [kg]}$$

$$C_{p \text{ air}} = 4,19 \text{ [kJ/kg.K]}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 21,4 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (Temperatur rata-rata air pada menit 0)} \\ &= 294,4 \text{ [K]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 18,1 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (Temperatur rata-rata air pada saat es habis)} \\ &= 291,1 \text{ [K]} \end{aligned}$$

Maka besarnya perpindahan kalor (Q) air yang berada didalam *ice bank* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.1):

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 2106[\text{kg}] \times 4,19 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right] \times (294,4 - 291,1)[\text{K}] \\ &= 29.119,66[\text{kJ}] \end{aligned}$$

- Waktu yang dibutuhkan untuk mencairkan seluruh es adalah 55 menit (3.300 detik), dengan demikian laju perpindahan kalor (q) pada air dapat diketahui dengan persamaan (2.3):

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{\Delta t} \\ &= \frac{29.119,66[\text{kJ}]}{3.300[\text{s}]} \\ &= 8,82[\text{kW}] \end{aligned}$$

- Kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan seluruh es balok.

Diketahui:

$$M_{es} = 57,262 \text{ [kg]}$$

$$C_{p \text{ air}} = 4,19 \text{ [kJ/kg.K]}$$

$$h_f = 334 \text{ [kJ/kg]}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0 [^{\circ}\text{C}] \\ &= 273 [\text{K}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 18,1 [^{\circ}\text{C}] \\ &= 291,1 [\text{K}] \end{aligned}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan seluruh es balok dapat diketahui dengan persamaan (2.2):

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot h_f \\ &= (57,262[\text{kg}] \times 2) \times 334 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \\ &= 38.251,02[\text{kJ}] \end{aligned}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur es balok setelah mencair dapat diketahui dengan persamaan (2.1):

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= (57,262[\text{kg}] \times 2) \times 4,19 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \times (291,1 - 273) [\text{K}] \\ &= 8.685,39[\text{kJ}] \end{aligned}$$

Dengan demikian total kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan es yang adalah:

$$\begin{aligned} Q &= 38.251,02[\text{kJ}] + 8.685,39[\text{kJ}] \\ &= 46.936,41[\text{kJ}] \end{aligned}$$

- Waktu yang dibutuhkan untuk mencairkan seluruh es adalah 55 menit (3.300 detik), dengan demikian laju perpindahan kalor (q) pada es balok dapat diketahui dengan persamaan (2.3):

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{\Delta t} \\ &= \frac{46.936,41[\text{kJ}]}{3.300[\text{s}]} \\ &= 14,22[\text{kW}] \end{aligned}$$

Tabel 4.1: Hasil perhitungan dengan variasi frekuensi

Frekuensi [Hz]	Q air [kJ]	Q es [kJ]	q air [kW]	q es [kW]
20	29119,66	46936,41	8,82	14,22
35	41473,46	48423,96	19,75	23,06
50	39708,63	47368,28	26,47	31,58

4.1.2 Perhitungan Data Pengukuran Dengan Variasi Jumlah Es Balok.

Perhitungan data dari hasil pengukuran dengan variasi frekuensi listrik ini terdiri dari perhitungan data pengukuran IV, pengukuran III dan pengukuran V. Cara perhitungan sama dengan perhitungan data pengukuran I.

Tabel 4.2: Hasil perhitungan dengan variasi jumlah es balok.

Jumlah Es [Balok]	Q air [kJ]	Q es [kJ]	q air [kW]	q es [kW]
1	17648,28	23492,19	8,91	11,86
2	39708,63	47368,28	26,47	31,58
3	62651,39	70548,56	29,83	33,59

4.1.3 Perhitungan Data Pengukuran Dengan Variasi Arah aliran.

Perhitungan data dari hasil pengukuran dengan variasi frekuensi listrik ini terdiri dari perhitungan data pengukuran V dan pengukuran VI. Cara perhitungan sama dengan perhitungan data pengukuran I.

Tabel 4.3: Hasil perhitungan dengan variasi arah aliran.

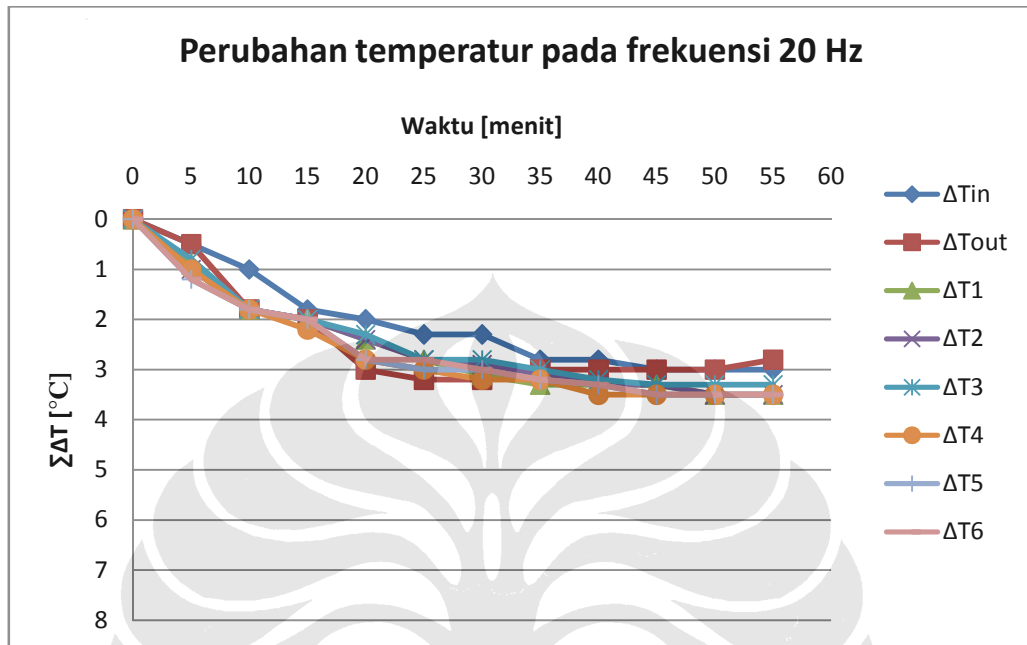
Arah aliran	Q air [kJ]	Q es [kJ]	q air [kW]	q es [kW]
1	62651,39	70548,56	29,83	33,59
2	60004,15	70980,42	22,22	26,29

4.2 ANALISA DATA

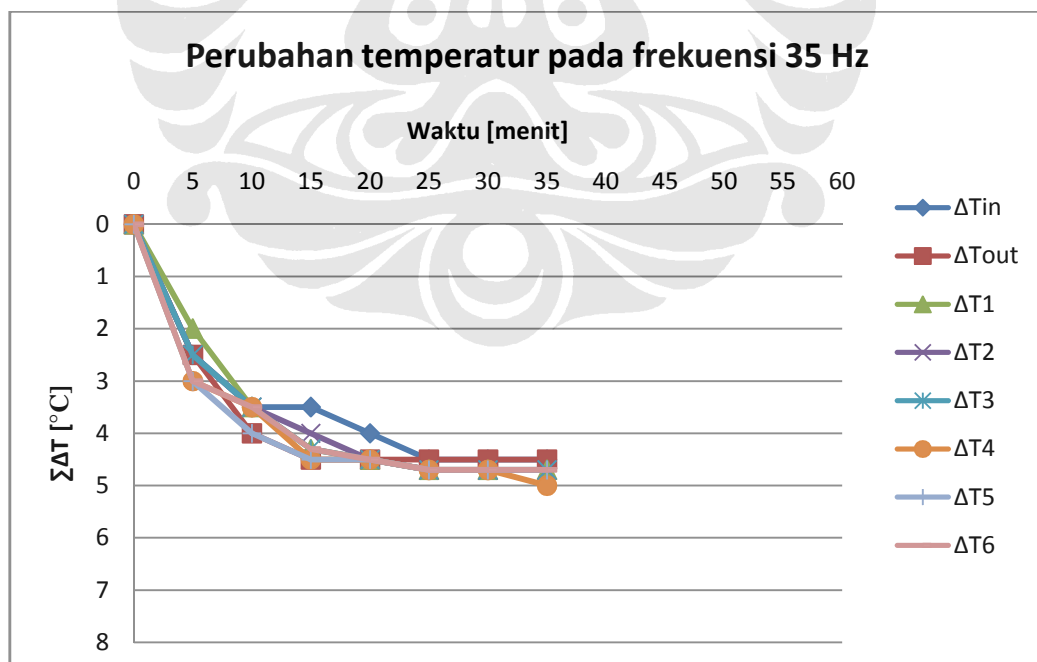
4.2.1 Analisa Distribusi Temperatur Dengan Variasi Frekuensi Listrik

Berdasarkan data gambar 4.1, 4.2 dan 4.3, terlihat bahwa titik-titik pengukuran 4, 5 dan 6 lebih cepat mengalami penurunan temperatur dari pada titik-titik 1, 2 dan 3. Hal ini terjadi karena aliran air yang keluar dari sisi evaporator lebih dulu menuju titik 1,2 dan 3, kemudian melewati titik-titik 4, 5, dan 6, dan kemudian sebagian besar aliran akan berulang lagi. Hanya sebagian kecil dari sirkulasi air yang masuk kembali kedalam sisi evaporator. Jika diperhatikan pada ketiga grafik distribusi temperatur, semakin tinggi frekuensi listrik pompa, maka akan semakin terlihat jelas titik-titik mana saja yang mengalami penurunan temperatur lebih dahulu.

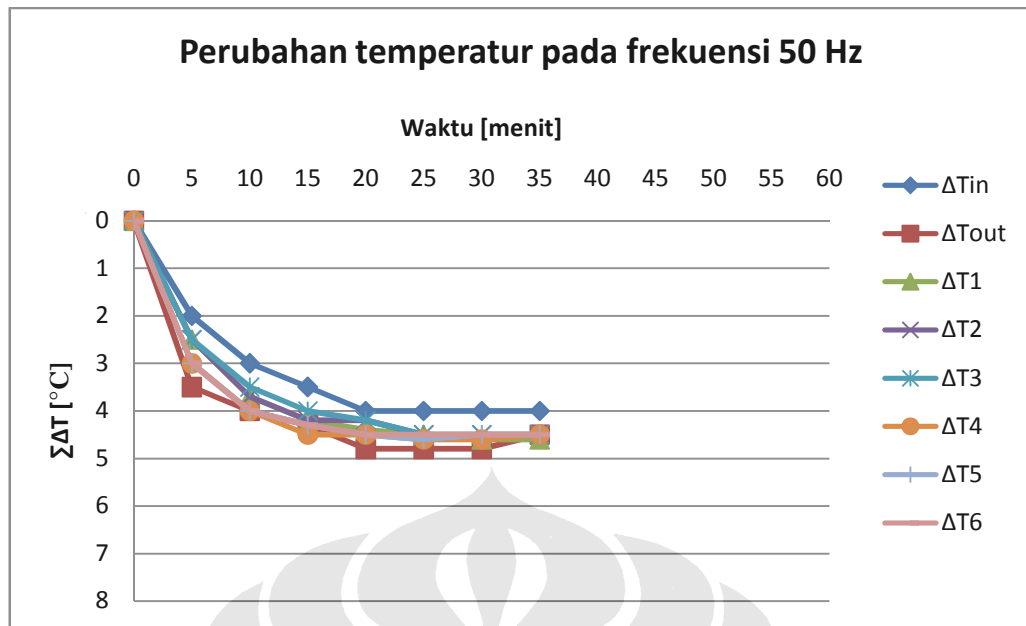
Agar distribusi temperatur pada tiap variasi dapat dibandingkan, maka temperatur dibuat dalam bentuk $\sum \Delta T$, ini adalah selisih temperatur tiap 5 menit secara kumulatif.



Gambar 4.1: Grafik perubahan temperatur pada frekuensi 20 Hz.



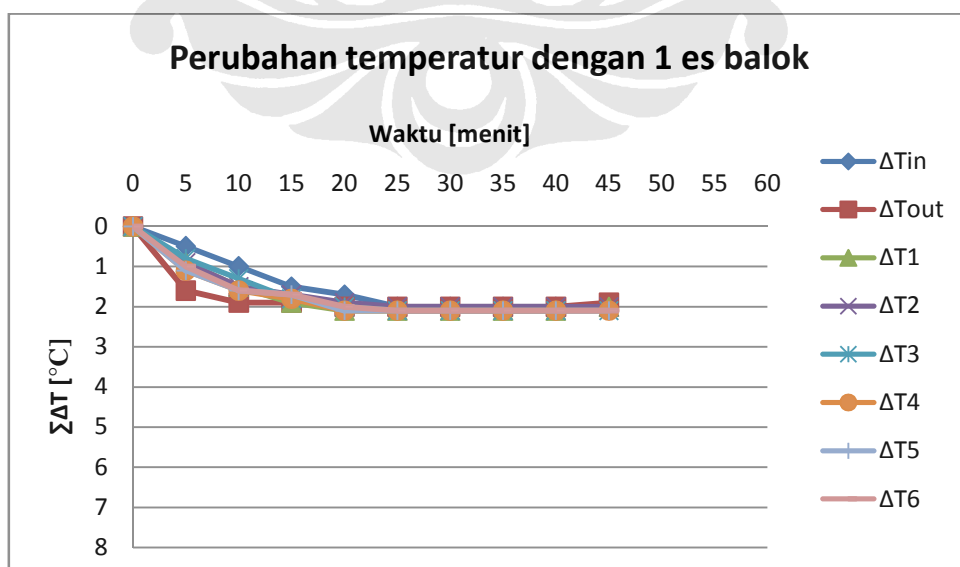
Gambar 4.2: Grafik perubahan temperatur pada frekuensi 35 Hz.



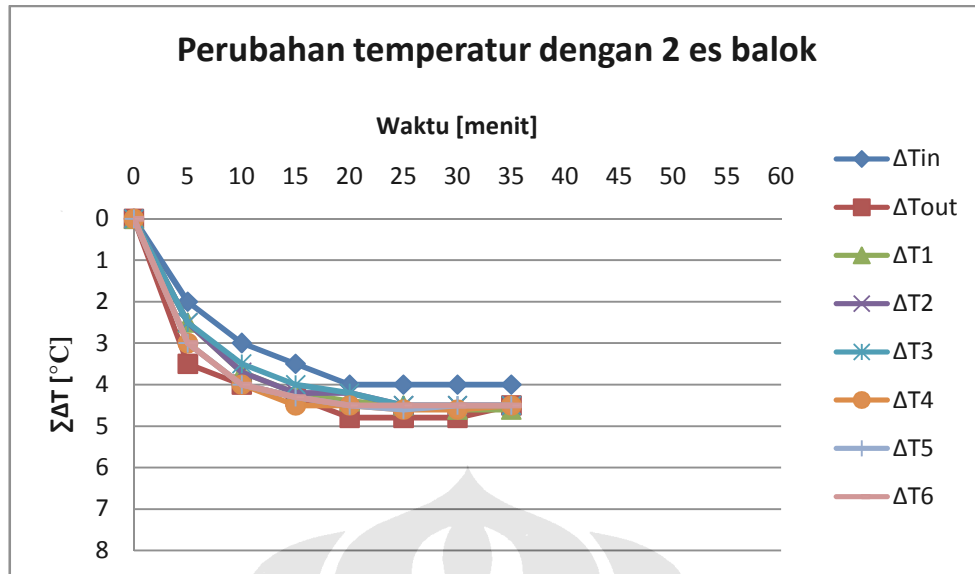
Gambar 4.3: Grafik perubahan temperatur pada frekuensi 50 Hz.

4.2.2 Analisa Distribusi Temperatur Dengan Variasi Jumlah Es Balok.

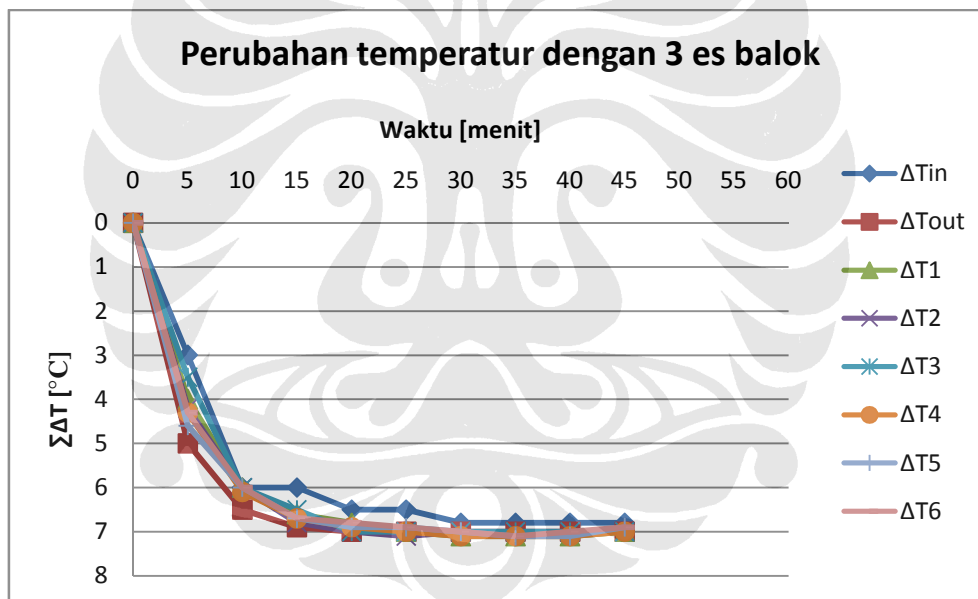
Berdasarkan data gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 yang diperoleh dari hasil pengukuran distribusi temperatur dengan variasi pada jumlah es balok yang digunakan sebagai pendingin, juga menunjukkan bahwa titik-titik pengukuran 4, 5 dan 6 lebih cepat mengalami penurunan temperatur dari pada titik-titik 1, 2 dan 3. Selain itu penurunan temperatur pada tiap titik-titik pengukuran semakin cepat, seiring dengan bertambahnya jumlah es balok yang digunakan.



Gambar 4.4: Grafik perubahan temperatur dengan 1 es balok.



Gambar 4.5: Grafik perubahan temperatur dengan 2 es balok.

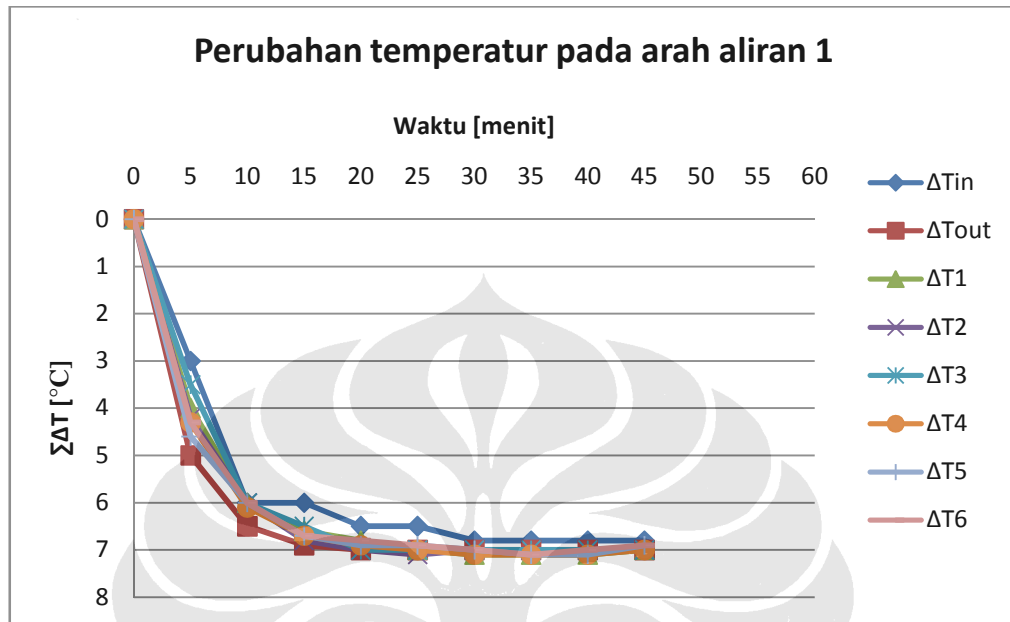


Gambar 4.6: Grafik perubahan temperatur dengan 3 es balok.

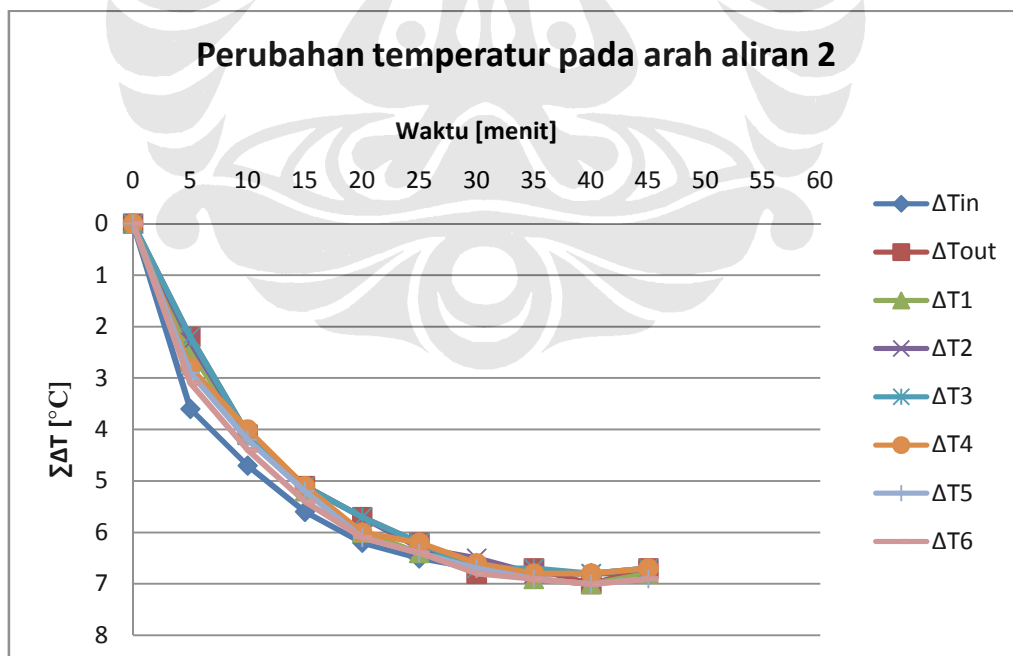
4.2.3 Analisa Distribusi Temperatur Dengan Variasi Arah Aliran.

Berdasarkan gambar grafik 4.7 dan 4.8, dapat dilihat bahwa penurunan temperatur lebih cepat terjadi pada arah aliran 1 daripada arah aliran 2. Hal ini terjadi karena pada arah aliran 1, aliran air di dalam ruang evaporator turbulens. Sedangkan pada arah aliran 2, aliran air di dalam ruang evaporator relatif lebih tenang. Baik pada pengukuran distribusi temperatur dengan arah aliran 1 dan arah

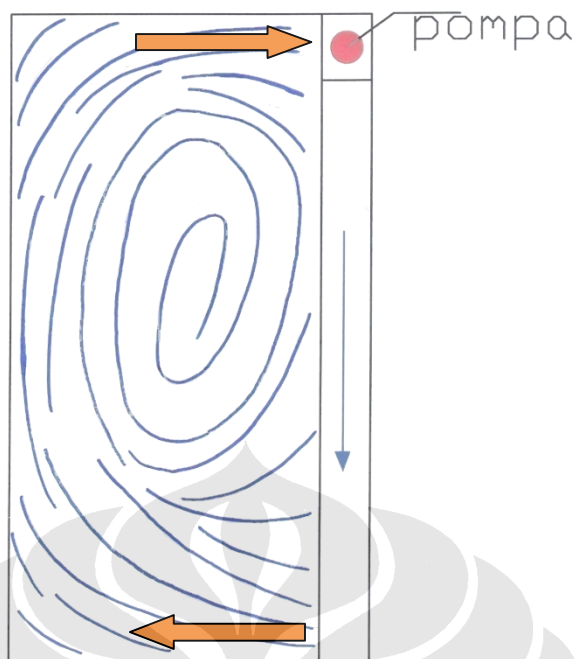
aliran 2, daerah yang lebih cepat dingin adalah juga daerah yang lebih jauh dari bagian evaporator. Hal ini disebabkan oleh pola aliran air (dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10) yang terjadi pada *ice bank*.



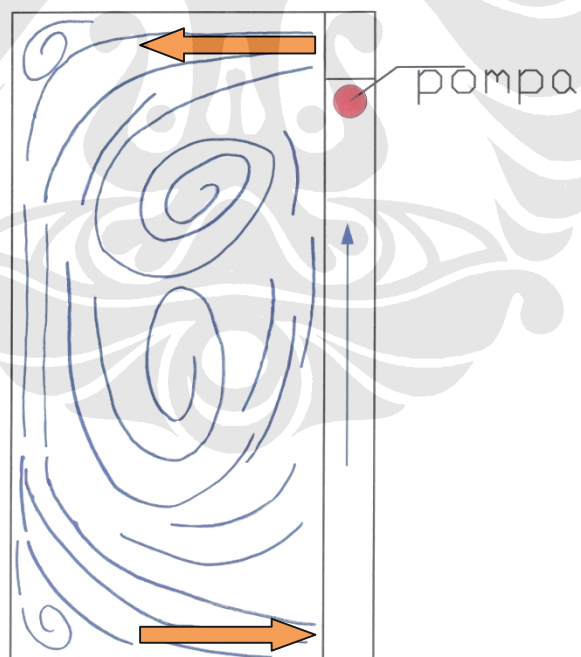
Gambar 4.7: Grafik perubahan temperatur pada arah aliran 1.



Gambar 4.8: Grafik perubahan temperatur pada arah aliran 2.



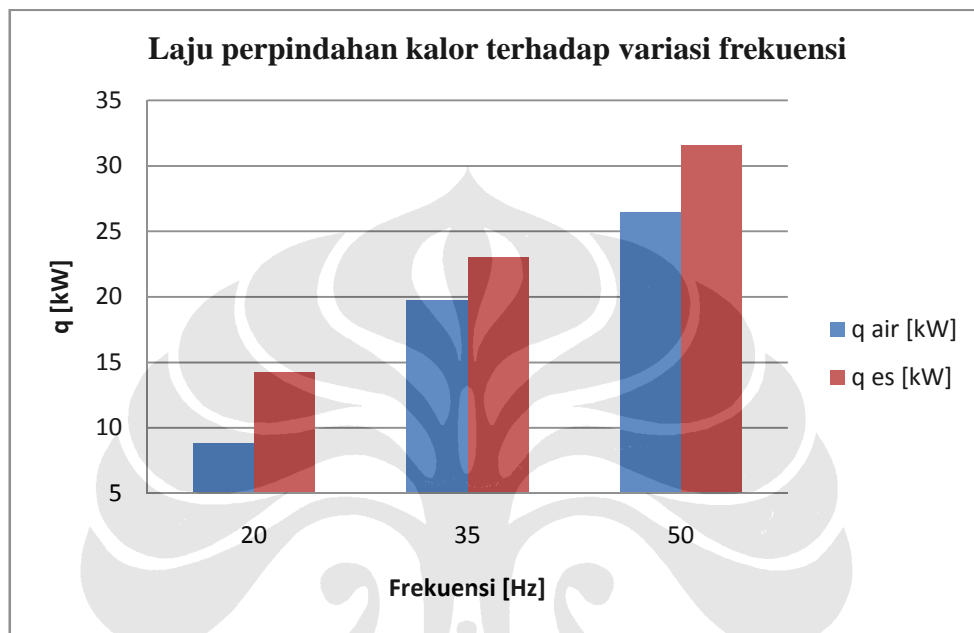
Gambar 4.9: Pola arah aliran 1.



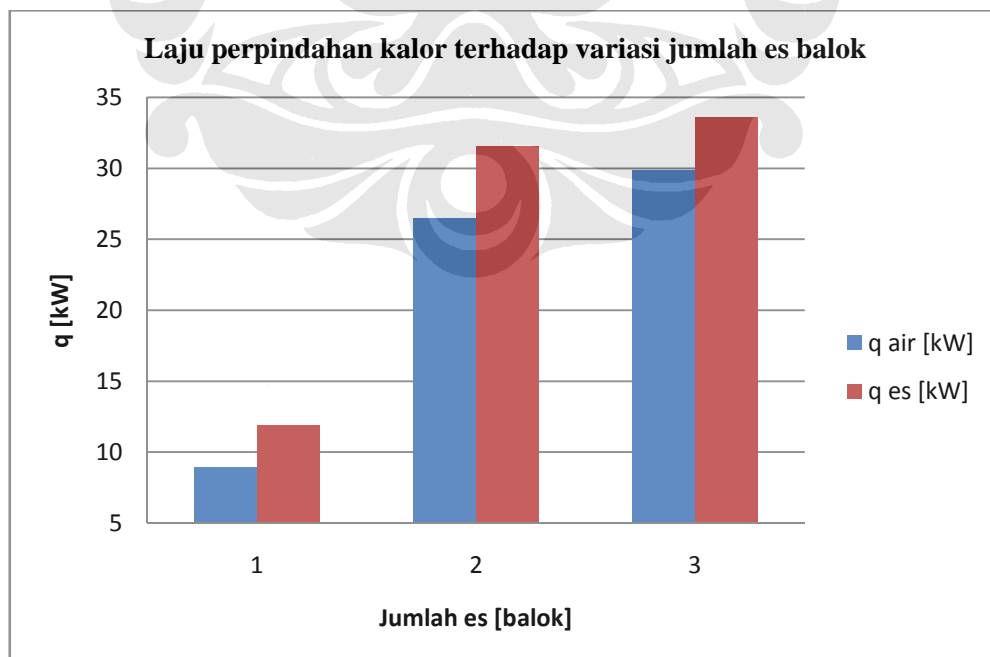
Gambar 4.10: Pola arah aliran 2.

4.2.4 Analisa Perpindahan Kalor

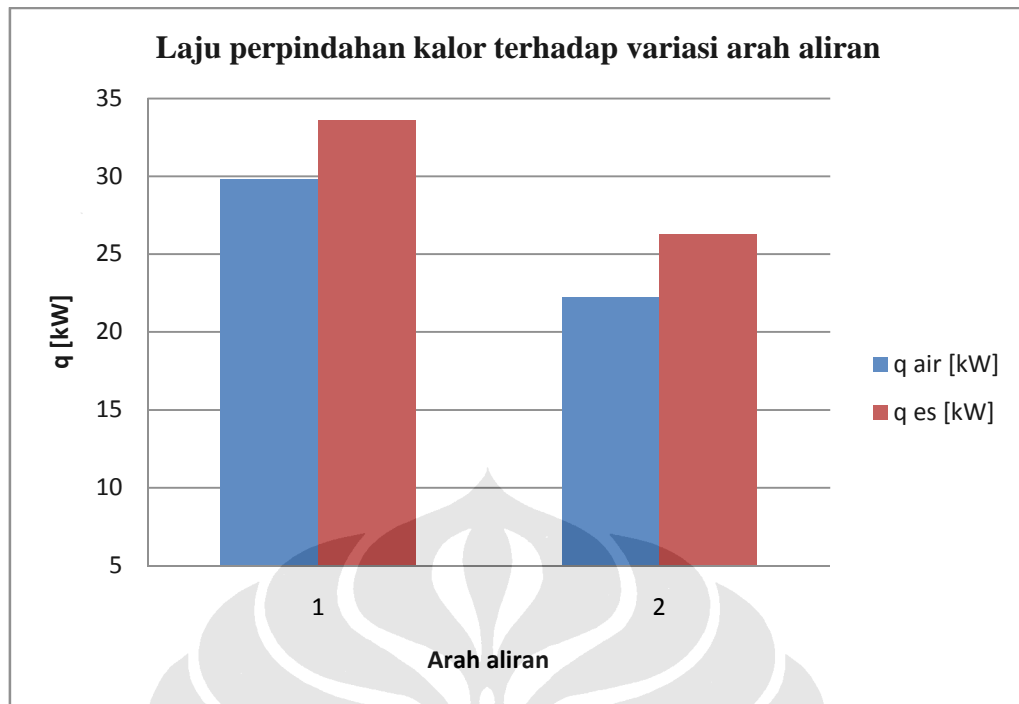
Berikut ini adalah grafik laju perpindahan kalor yang diperoleh dari perhitungan data pengukuran distribusi temperatur dengan variasi frekuensi listrik pompa (frekuensi listrik berbanding lurus dengan debit pompa), variasi jumlah es balok dan variasi arah aliran:



Gambar 4.11: Grafik laju perpindahan kalor terhadap variasi frekuensi.



Gambar 4.12: Grafik laju perpindahan kalor terhadap variasi jumlah es balok.



Gambar 4.13: Grafik laju perpindahan kalor terhadap variasi arah aliran.

Pada gambar 4.11, 4.12 dan 4.13, ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara laju perpindahan kalor es dan laju perpindahan kalor air. Hal ini merupakan suatu indikasi bahwa masih banyak kalor yang masuk dari lingkungan luar sehingga mengganggu efek pendinginan yang terjadi didalam *ice bank*.

Berdasarkan gambar 4.13 terlihat bahwa laju perpindahan kalor dengan arah aliran 1 lebih tinggi daripada dengan arah aliran 2, hal ini disebabkan aliran air dalam ruang evaporator dengan aliran 1 lebih turbulen dari pada di ruang evaporator dengan aliran 2. Dengan demikian pendinginan akan lebih baik jika menggunakan pola arah aliran 1.