

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pengujian sistem dilakukan dengan tujuan adalah untuk mengetahui hasil dari perancangan yang telah dibuat pada Bab 3. Pengujian sistem ini terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari pengujian terhadap tiap-tiap bagian pendukung sistem hingga pengujian sistem secara keseluruhan.

#### 4.1 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu LM35

Pengujian sensor suhu LM35 dilakukan dengan cara memberikan tegangan 5V pada sensor dan memvariasikan suhu airnya, kemudian tegangan keluaran diukur menggunakan voltmeter. Sebagai acuan diletakkan termometer pada air yang akan diukur suhunya.

Berdasarkan *datasheet* sensor suhu LM35, tegangan *output* (keluaran) sensor terkalibrasi linear 10 mV/°C, sehingga suhu 0 °C akan menghasilkan tegangan keluaran 0 V dan suhu 25 °C akan menghasilkan tegangan keluaran  $25 \times 10 \text{ mV} = 250 \text{ mV}$

Hasil Pengujian tegangan keluaran (*output*) sensor suhu dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Tegangan Keluaran Sensor Suhu LM35

| No | Suhu terukur<br>Termometer (°C) | V Out LM35<br>ideal (mV) | V Out LM35 hasil<br>pengukuran (mV) | Error<br>(mV) | Error<br>(%) |
|----|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|
| 1  | 25                              | 250                      | 249                                 | 1             | 0,4          |
| 2  | 26                              | 260                      | 260                                 | 0             | 0            |
| 3  | 27                              | 270                      | 270                                 | 0             | 0            |
| 4  | 28                              | 280                      | 281                                 | 1             | 0,36         |
| 5  | 29                              | 290                      | 290                                 | 0             | 0            |
| 6  | 30                              | 300                      | 299                                 | 1             | 0,33         |
| 7  | 31                              | 310                      | 310                                 | 0             | 0            |
| 8  | 32                              | 320                      | 320                                 | 0             | 0            |
| 9  | 33                              | 330                      | 331                                 | 1             | 0,3          |
| 10 | 34                              | 340                      | 338                                 | 2             | 0,3          |

Hasil pengujian nilai tegangan keluaran dari sensor suhu LM35 pada rangkaian masih terdapat perbedaan dengan nilai tegangan yang sesuai dengan karakteristik pada *datasheet*, perbedaan tegangan keluaran yaitu sebesar 1 mV hingga 2 mV. Selisih nilai tegangan keluaran yang terdapat pada sensor suhu LM35 dengan termometer dapat disebabkan karena ketelitian pembacaan pada alat ukur (termometer).

Nilai tegangan yang dibaca ADC *internal* mikrokontroler adalah nilai tegangan keluaran sensor suhu LM35, selanjutnya keluaran dari ADC *internal* mikrokontroler akan dikonversi menjadi nilai suhu yang terbaca dan akan ditampilkan ke LCD. Hasil pengujian rangkaian sensor suhu yang terbaca oleh sensor yang ditampilkan pada LCD melalui mikrokontroler, dibandingkan dengan termometer dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Table 4.2 Pengujian Suhu Tampilan LCD

| No | Suhu terukur<br>Termometer (°C) | Suhu Tampilan pada<br>LCD (°C) |
|----|---------------------------------|--------------------------------|
| 1  | 25                              | 25,0                           |
| 2  | 26                              | 26,0                           |
| 3  | 27                              | 27,0                           |
| 4  | 28                              | 28,0                           |
| 5  | 29                              | 29,0                           |
| 6  | 30                              | 30,0                           |
| 7  | 31                              | 31,0                           |
| 8  | 32                              | 32,0                           |
| 9  | 33                              | 33,0                           |
| 10 | 34                              | 34,0                           |

Hasil pengujian suhu yang pada Tabel 4.2 terlihat bahwa tidak ada selisih antara suhu yang terukur dengan termometer dan suhu terbaca oleh sensor yang kemudian ditampilkan pada LCD, hal ini dapat disimpulkan bahwa pembacaan rangkaian sensor suhu dari LM35 yang diolah melalui mikrokontroler kemudian ditampilkan pada LCD sudah bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan.

## 4.2 Pengujian Elemen Peltier

Pengujian elemen peltier ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau kemampuan peltier dalam mendinginkan serta memanaskan air laut.

### 4.2.1 Pengujian Elemen Peltier sebagai Pendingin

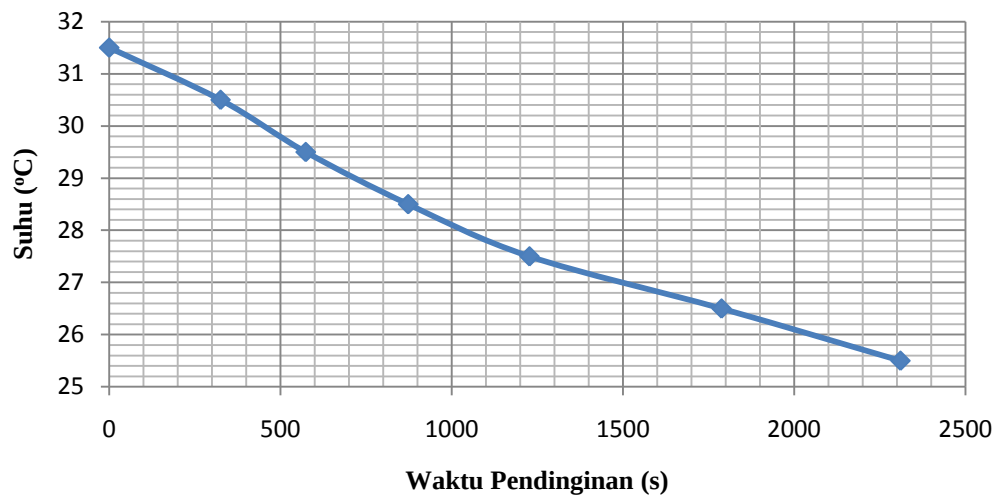
Pengujian elemen peltier sebagai pendingin dilakukan dengan cara memasukkan air laut kedalam wadah yang terbuat dari aluminium dan meletakkan termometer di tengah-tengah wadah untuk mengukur suhu airnya seperti pada gambar di lampiran. Elemen peltier ditempelkan pada bagian bawah wadah aluminium yang berisi satu liter air laut.

Pengujian ini dilakukan pada tanggal 13 Mei 2014 pukul 15:52 WIB berlokasi di perumahan Unib Permai kecamatan Muara Bangkahulu kota Bengkulu dengan suhu lingkungan terukur 32 °C. Hasil dari pengujian ini diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Pendingin Menggunakan Elemen Peltier

| No | Suhu terukur Termometer ( °C ) | Waktu ( S ) |
|----|--------------------------------|-------------|
| 1  | 31,5                           | 0           |
| 2  | 30,5                           | 325         |
| 3  | 29,5                           | 574         |
| 4  | 28,5                           | 873         |
| 5  | 27,5                           | 1227        |
| 6  | 26,5                           | 1788        |
| 7  | 25,5                           | 2310        |

Hasil pengujian pendingin menggunakan elemen peltier pada Tabel 4.3 memperlihatkan kemampuan elemen peltier dalam mendinginkan satu liter air laut dimana suhu lingkungan terukur 32 °C dan suhu awal air pada saat itu 31,5 °C, setelah 325 detik (5 menit 25 detik) elemen peltier diberikan tegangan 12 VDC dan arus 6 Amper dan terjadi penurunan suhu air sebesar 1 °C. Penurunan suhu air 1 °C, 2 °C, dan 3 °C dari suhu awal hampir sama waktu penurunan yang dibutuhkan per 1 °C-nya, tetapi ketika suhu air mencapai penurunan 4 °C, 5 °C, dan 6 °C waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan semakin lama. Gambar 4.1 memperlihatkan grafik penurunan suhu air terhadap waktu.



Gambar 4.1. Grafik Pengujian Pendingin Dengan Elemen Peltier

#### 4.2.2 Pengujian Elemen Peltier Sebagai Pemanas

Pengujian elemen peltier sebagai pemanas ini sama dengan proses pengujian elemen peltier sebagai pendingin hanya saja pada pengujian ini yang ditempelkan di bawah wadah air aluminium adalah sisi panas elemen peltier yang disertai *heatsink* serta kipas pendingin yang diberikan tegangan 12 VDC.

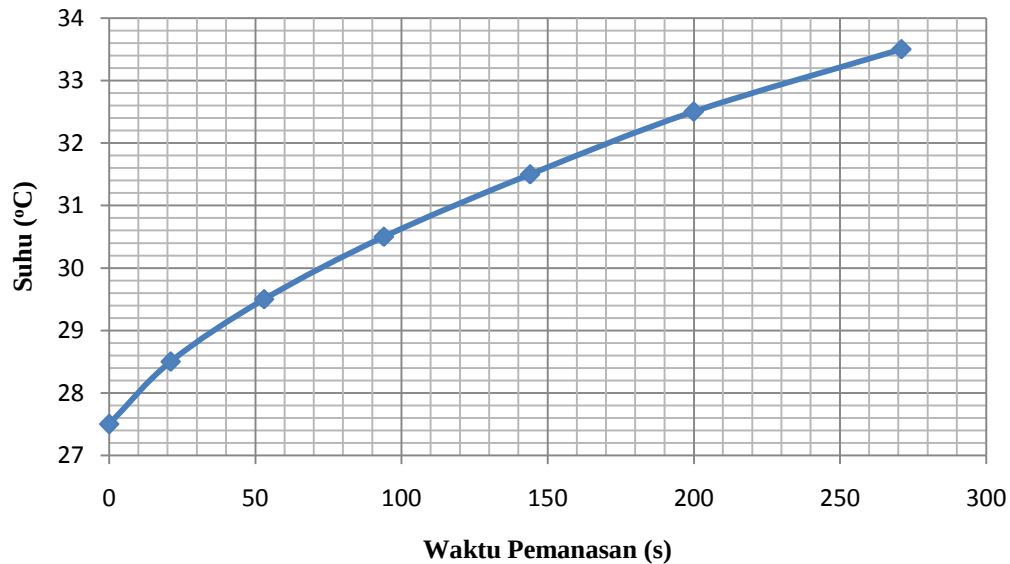
Pengujian elemen peltier sebagai pendingin dilakukan pada tanggal 13 Mei 2014 pukul 21:02 WIB berlokasi di perumahan Unib Permai kecamatan Muara Bangkahulu kota Bengkulu dengan suhu lingkungan terukur 28 °C. hasil dari pengujian ini diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian Pemanas menggunakan Elemen Peltier

| No | Suhu terukur Termometer ( °C ) | Waktu ( S ) |
|----|--------------------------------|-------------|
| 1  | 27,5                           | 0           |
| 2  | 28,5                           | 21          |
| 3  | 29,5                           | 53          |
| 4  | 30,5                           | 94          |
| 5  | 31,5                           | 144         |
| 6  | 32,5                           | 200         |
| 7  | 33,5                           | 271         |

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa hasil pengujian pemanas menggunakan elemen peltier sangat berbeda saat elemen peltier digunakan sebagai pendingin.

Hal ini ditunjukkan pada waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perubahan suhu air, dimana peltier lebih cepat melakukan perubahan suhu air ketika dijadikan sebagai elemen pemanas. Waktu yang dibutuhkan elemen peltier untuk menaikkan 1 °C suhu 1 liter air laut kurang lebih 21 detik. Grafik kenaikan suhu air terhadap waktu perubahan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Pengujian Pemanas Dengan Elemen Peltier

### 4.3 Pengujian Rangkaian *Driver* Pengendali

Pengujian rangkaian *driver* pengendali dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian apakah sudah berjalan dengan baik atau belum. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengubah suhu air laut yang akan di kontrol, dimana setpoint pengontrol di atur pada suhu 28 °C dan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengujian Rangkain *Driver* Pengendali

| No | Suhu Tampilan LCD ( °C ) | Tegangan Keluaran Pengendali (V) | Led Indikaor Pemanas | Led Indikaor Pendingin |
|----|--------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|
| 1  | 26                       | -12                              | Menyala              | Tidak Menyala          |
| 2  | 27                       | -12                              | Menyala              | Tidak Menyala          |
| 3  | 28                       | 0                                | Tidak Menyala        | Tidak Menyala          |
| 4  | 29                       | 12                               | Tidak Menyala        | Menyala                |
| 5  | 30                       | 12                               | Tidak Menyala        | Menyala                |

Tabel 4.5 dari hasil pengujian rangkaian *driver* pengendali menunjukkan pada saat suhu air sama dengan setpoint, baik led indikator pemanas maupun pendingin tidak ada yang menyala, dan tegangan keluaran pengendali bernilai 0 V. Saat suhu air di bawah dari setpoint, led indikator pemanas menyala dan tegangan keluaran pengendali -12 V (polaritas terbalik) yang berarti mengaktifkan elemen peltier sebagai pemanas, sebaliknya pada saat suhu air di atas setpoint led indikator pendingin menyala dan tegangan 12 V yang artinya elemen peltier digunakan sebagai pendingin. Hasil dari pengujian rangkaian *driver* pengendali ini dapat disimpulkan bahwa rangkaian pengendali sudah bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan.

#### 4.4 Pengujian Unjuk Kerja Keseluruhan Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk melihat unjuk kerja alat dari segi waktu yang dibutuhkan dalam mencapai *setpoint*, baik saat menurunkan temperatur air laut dalam *plant* model (pendinginan) maupun saat menaikkan temperatur air tersebut (pemanasan). Setpoint pada pengujian ini diatur pada suhu 28 °C dengan toleransi  $\pm 0,5$  °C, dengan kata lain setpoint alat pada pengujian ini berkisar antara suhu 27,5 °C hingga suhu 28,5 °C. Pemanas akan aktif ketika suhu air laut di *plant* model melebihi suhu 28,5 °C dan akan non-aktif kembali ketika suhu air mencapai 28 °C. Sebaliknya, ketika suhu air kurang dari 27,5 °C maka pendingin akan aktif dan akan non-aktif kembali ketika suhu air mencapai 28 °C.

Pengujian unjuk kerja alat ini dilakukan dengan mengisi *plant* model dengan volume air yang berbeda untuk melihat linearitas dari kerja alat.

##### 4.4.1 Pengujian dengan Tiga Liter Air

Pengujian pertama unjuk kerja alat ini, *plant* model di isi dengan tiga liter air laut. Hasil pengujian unjuk kerja alat dalam menurunkan temperatur (mendinginkan) tiga liter air laut dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Mendinginkan Tiga Liter Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pendinginan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| 1  | 30                   | 3                   | 29,0          | 0                         |
| 2  |                      |                     | 28,5          | 240                       |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 600                       |

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa alat pengontrol ini dapat menurunkan temperatur tiga liter air laut yang ada dalam *plant* model ke posisi *setpoint* yang telah ditentukan, adapun waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur air ke posisi *setpoint* lebih kurang selama 630 detik (10,5 menit) dimana suhu awal air laut pada suhu 29 °C, berbeda dengan Tabel 4.7 yang menunjukan hasil pengujian unjuk kerja alat dalam menaikkan temperatur (memanaskan) tiga liter air laut.

Tabel 4.7 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Memanaskan Tiga Liter Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pemanasan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 1  | 27                   | 3                   | 27,0          | 0                       |
| 2  |                      |                     | 27,5          | 60                      |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 120                     |

Hasil pengujian unjuk kerja alat dalam menaikkan temperatur (memanaskan) tiga liter air laut seperti terlihat pada Tabel 4.7 menunjukan bahwa, waktu yang dibutuhkan dalam menaikkan temperatur (memanaskan) tiga liter air laut lebih singkat dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan dalam mendinginkan air dengan volume yang sama meskipun selisih suhu awal air sama-sama sebesar 1 °C. Waktu yang dibutuhkan dalam menaikkan suhu tiga liter air laut untuk mencapai *setpoint* dengan suhu awal 27 °C adalah, ± 120 detik (2 menit).

#### 4.4.2 Pengujian dengan Empat Liter Air

Pengujian unjuk kerja alat dalam menurunkan temperatur (mendinginkan) empat liter air laut yang dimasukkan ke dalam *plant* model dapat dilihat hasilnya pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Mendinginkan Empat Liter Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pendinginan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| 1  | 30                   | 4                   | 29,0          | 0                         |
| 2  |                      |                     | 28,5          | 360                       |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 900                       |

Pada Tabel 4.8 yang menunjukkan hasil pengujian unjuk kerja alat dalam mendinginkan empat liter air laut terlihat penurunan temperatur air pertama

sebesar 0,5 °C membutuhkan waktu 360 detik (6 menit), kemudian penurunan temperatur air selanjutnya ke suhu 28 °C membutuhkan waktu 540 detik (9 menit). Total waktu yang dibutuhkan alat ini untuk menurunkan 1 °C dari suhu air 29 °C ke suhu 28 °C adalah sebesar 900 detik (15 menit).

Hasil pengujian unjuk kerja alat dalam menaikkan temperatur (memanaskan) empat liter air laut terlihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Memanaskan Empat Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pemanasan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 1  | 27,5                 | 4                   | 27,0          | 0                       |
| 2  |                      |                     | 27,5          | 90                      |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 150                     |

Waktu yang dibutuhkan alat pengontrol temperatur untuk menaikkan temperatur (memanaskan) empat liter air seperti yang terlihat pada Tabel 4.9 selama 240 detik (4 menit), dimana setiap kenaikan per 0,5 °C dari suhu awal air 27°C membutuhkan waktu secara berturut-turut 90 detik, 60 detik.

#### 4.4.3 Pengujian dengan Lima Liter Air

Tabel 4.10 menunjukkan hasil dari pengujian unjuk kerja alat dalam menurunkan temperatur (mendinginkan) lima air laut.

Tabel 4.10 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Mendinginkan Lima Liter Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pendinginan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| 1  | 30                   | 5                   | 29,0          | 0                         |
| 2  |                      |                     | 28,5          | 480                       |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 1140                      |

Hasil pengujian yang ditunjukkan oleh Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa alat pengontrol ini masih mampu menurunkan temperatur lima liter air laut ke posisi *setpoint* yang telah ditentukan, meskipun membutuhkan waktu yang cukup lama. Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur lima liter air laut ke posisi *setpoint* adalah selama 1140 detik (19 menit) .

Hasil pengujian unjuk kerja alat dalam menaikkan temperatur (memanaskan) lima liter air laut dapat dilihat pada Tabel 4.11. Hasil pada tabel

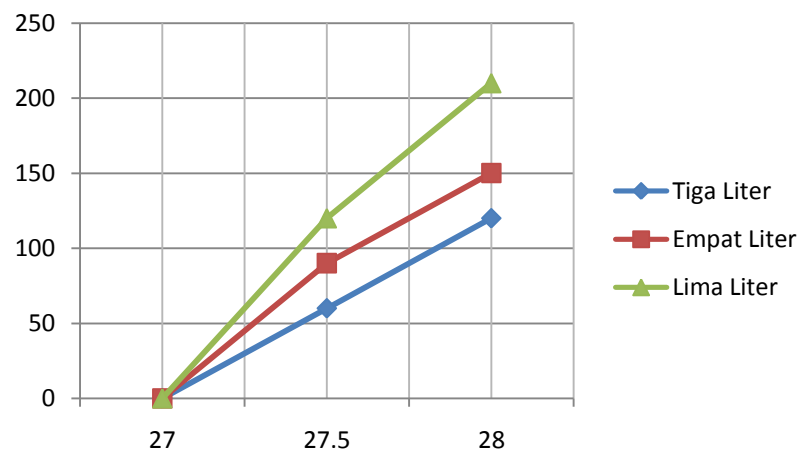


tersebut menunjukkan bahwa lamanya waktu yang dibutuhkan dalam menaikkan temperatur (memanaskan) lima liter air laut hingga mencapai *setpoint* dengan suhu awal 27 °C adalah selama 210 detik (3,5 menit).

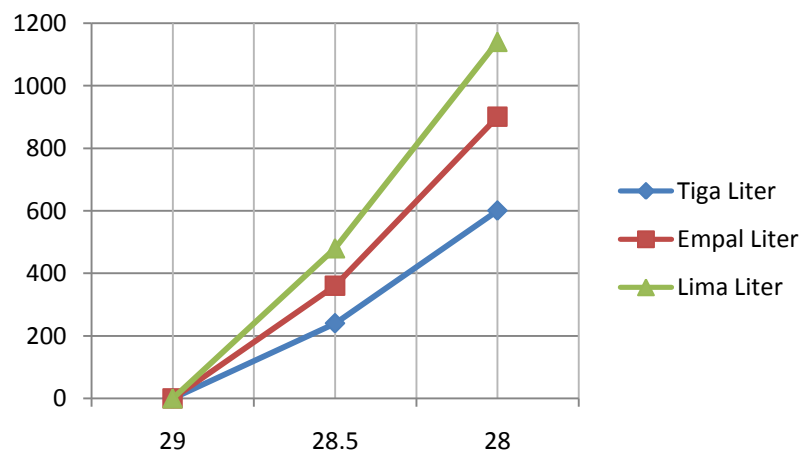
Tabel 4.11 Pengujian Unjuk Kerja Alat dalam Memanaskan Lima liter Air Laut

| No | Suhu lingkungan (°C) | Volume Air Laut (L) | Suhu Air (°C) | Waktu Pemanasan (Detik) |
|----|----------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 1  | 27                   | 5                   | 27,0          | 0                       |
| 2  |                      |                     | 27,5          | 90                      |
| 3  |                      |                     | 28,0          | 210                     |

Grafik hasil pengujian unjuk kerja alat menggunakan tiga liter, empat liter, dan lima liter air laut dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Unjuk Kerja Alat saat Pemanasan



Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Unjuk Kerja Alat saat Pendinginan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan digambarkan pada grafik pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, terlihat bahwa semakin besar volume air laut yang digunakan dalam pengujian maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur air laut tersebut, baik dalam proses pemanasan seperti terlihat pada Gambar 4.3 maupun dalam peroses pendinginan yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

## 4.5 Analisa dan Pembahasan

### 4.5.1 Perhitungan Beban Kalor

Pada analisis ini, yang akan didinginkan/dipanaskan adalah air laut yang ada di dalam *plant* model. Volume air laut di dalam *plant* model bervariasi, mulai dari 3 liter, 4 liter, hingga 5 liter. Selisih suhu air awal dengan suhu air yang akan dicapai (*setpoint*) sebesar 1 °C. Besar beban kalor untuk pemanasan/pendinginan air laut di dalam *plant* model dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1), untuk perhitungan beban kalor 3 liter air laut sebagai berikut.

Diketahui :  $\Delta t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $m = 3\text{ kg}$ ;  $c = 3900\text{ J/kg.}^{\circ}\text{C}$ ;

$$Q_b = 3 \times 3900 \times 1$$

$$Q_b = 11700\text{ Joule}$$

Hasil perhitungan beban kalor yang untuk 3 liter air laut sebesar 11700 Joule, hasil perhitungan beban kalor untuk 4 liter dan 5 liter air laut dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Beban Kalor Air Laut

| No | Volume Air (L) | Selisih Suhu Air (°C) | Beban Kalor (Joule) |
|----|----------------|-----------------------|---------------------|
| 1  | 3              | 1                     | 11700               |
| 2  | 4              |                       | 15600               |
| 3  | 5              |                       | 19500               |

### 4.5.2 Perhitungan Thermocouple

Termoelektrik yang digunakan pada penelitian ini adalah termoelektrik dengan tipe TEC1-12706 , dengan keterangan sebagai berikut:

$I_{max}$ . : 6.4 A

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| V <sub>max</sub> . | : 16.4 V           |
| Q <sub>max</sub> . | : 72 W             |
| ΔT <sub>max</sub>  | : 75 °C            |
| Size               | : 40 x 40 x 3.8 mm |
| Modul Resistance   | : 2,3 Ohm          |

Ukuran elemen *thermocouple* adalah sebagai berikut:

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Panjang tiap elemen      | : 1 cm                       |
| Diameter tiap elemen     | : 0,5 cm                     |
| Koefisien termal elemen  | : 0,015 W/cm. °K             |
| Tahanan elemen           | : 0,001 ohm cm               |
| Hubungan tahanan listrik | : 0,0001 ohm-cm <sup>2</sup> |
| Jumlah <i>Couple</i>     | : 127                        |

### 1. Koefisien Peltier (α)

Untuk menghitung koefisien peltier dapat menggunakan Persamaan (2.3) sebagai berikut:

Diketahui: V = 16,4 V; I = 6.4; R = 2,3; ΔT = 75

$$\alpha = \frac{V - I \times R}{\Delta T}$$

$$\alpha = \frac{16,4 - 6,4 \times 2,3}{75}$$

$$\alpha = 0,0224 \text{ Volt/}^{\circ}\text{K}$$

### 2. Luas Permukaan Elemen (A)

Luas permukaan elemen dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Diketahui: d = 0,5 cm

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \cdot (0,5)^2}{4}$$

$$A = 0,196 \text{ cm}^2$$

### 3. Jumlah Tahanan dari *Couple* (R)

Tahanan dari dua material penyusun *couple* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diketahui:  $L = 1 \text{ cm}$ ;  $A = 0,196 \text{ cm}^2$ ;  $\rho = 0,001 \text{ Ohm cm}$ ;  $r = 0,0001 \text{ Ohm cm}^2$

$$R_c = 2 \times \left( \rho \times \frac{L}{A} + \frac{2r}{A} \right)$$

$$R_c = 2 \times \left( 0,001 \times \frac{1}{0,196} + \frac{2 \cdot 0,0001}{0,196} \right)$$

$$R_c = 2 \times (0,005 + 0,001)$$

$$R_c = 0,012 \text{ Ohm}$$

Tahan dari 2 material (*couple*) sebesar 0,012 Ohm, sedangkan jumlah total tahan *couple* adalah tahan *couple* dikali jumlah *couple* menjadi:

$$R_{tc} = 0,012 \times 127$$

$$R_{tc} = 1,5 \text{ Ohm}$$

### 4. Jumlah Konduktivitas *Thermal* dari *Couple*

Konduktivitas termal dari dua material penyusun *couple* yang berbeda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diketahui:  $k = 0,015 \text{ Watt/cm}^\circ\text{K}$ ;  $A = 0,196 \text{ cm}^2$ ;  $L = 1 \text{ cm}$

$$K_c = 2 \times k \times \frac{A}{L}$$

$$K_c = 2 \times 0,0015 \times \frac{0,196}{1}$$

$$K_c = 0,0059 \text{ Watt}^\circ\text{K}$$

Dan jumlah total konduktivitas *thermal* dari thermoelektrik

$$K = 0,0059 \times 127$$

$$K = 0,75 \text{ Watt}^\circ\text{K}$$

#### 4.5.3 Perhitungan Proses Pendinginan *Thermoelectric*

Besarnya kalor per satuan waktu yang diserap pada sisi dingin peltier, dimana elemen peltier ini diberikan tegangan input sebesar 12 V dan arus sebesar 6 A dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.6).

Diketahui:  $I = 6 \text{ A}$ ;  $\alpha = 0,0224 \text{ Volt/}^{\circ}\text{K}$ ;  $R_{tc} = 1,5 \text{ Ohm}$ ;  $K = 0,75 \text{ Watt/}^{\circ}\text{K}$ ;  $T_h = 302 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ;  $T_c = 301 \text{ }^{\circ}\text{K}$

$$Q_c = (0,0224 \times 6 \times 301) - (1 \times 0,75) - 6^2 \times \frac{1,5}{2}$$

$$Q_c = 40,45 - 0,75 - 27$$

$$Q_c = 12,7 \text{ Watt}$$

Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan 3 liter air laut (beban kalor) menggunakan dua unit elemen peltier adalah:

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_c}$$

$$t = \frac{11700}{2 \times 12,7}$$

$$t = 460 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan waktu pendinginan menggunakan dua unit elemen peltier dengan beban kalor yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Waktu Pendinginan

| No | Volume Air (L) | Selisih Suhu Air ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Beban Kalor (Joule) | $t_{\text{pengujian}}$ (detik) | $t_{\text{perhitungan}}$ (detik) |
|----|----------------|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1  | 3              | 1                                       | 11700               | 630                            | 460                              |
| 2  | 4              |                                         | 15600               | 900                            | 614                              |
| 3  | 5              |                                         | 19500               | 1140                           | 767                              |

#### 4.5.4 Perhitungan Proses Pemanasan Thermoelektrik

Besarnya kalor per satuan waktu yang dilepas pada sisi panas peltier dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7).

Diketahui:  $I = 6 \text{ A}$ ;  $\alpha = 0,0224 \text{ Volt/}^{\circ}\text{K}$ ;  $R_{tc} = 1,5 \text{ Ohm}$ ;  $K = 0,75 \text{ Watt/}^{\circ}\text{K}$ ;  $T_h = 302 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ;  $T_c = 301 \text{ }^{\circ}\text{K}$

$$Q_h = (0,0224 \times 6 \times 301) - (1 \times 0,75) + 6^2 \times \frac{1,5}{2}$$

$$Q_h = 40,45 - 0,75 + 27$$

$$Q_h = 66,7 \text{ Watt}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan 3 liter air laut (beban kalor) menggunakan dua unit elemen peltier adalah:

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_h}$$

$$t = \frac{11700}{2 \times 66,7}$$

$$t = 88 \text{ detik}$$

Tabel 4.14 memperlihatkan hasil perhitungan waktu pendinginan menggunakan dua unit elemen peltier dengan beban kalor yang berbeda.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Waktu Pemanasan

| No | Volume Air (L) | Selisih Suhu Air (°C) | Beban Kalor (Joule) | t <sub>pengujian</sub> (detik) | t <sub>perhitungan</sub> (detik) |
|----|----------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1  | 3              | 1                     | 11700               | 120                            | 88                               |
| 2  | 4              |                       | 15600               | 150                            | 117                              |
| 3  | 5              |                       | 19500               | 210                            | 146                              |

Hasil pengujian alat pengontrol temperatur air laut ini menunjukkan bahwa sistem kontrol sudah berjalan dengan baik, mulai dari pembacaan sensor suhu hingga *driver* pengendali, meskipun dari hasil pengujian untuk proses pendinginan air laut membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menurunkan temperatur air laut dibandingkan dengan proses pemanasan untuk menaikkan temperatur air laut tersebut.

Perbedaan waktu yang terjadi pada proses pendinginan dan pemanasan air laut tersebut disebabkan karena pada saat pendinginan, kipas dan *headsink* yang terpasang disisi panas elemen peltier tidak mampu maksimal mendinginkan sisi panas elemen peltier tersebut. Faktor lain yang menyebabkan hal ini terjadi ialah temperatur lingkungan, dimana temperatur lingkungan meningkat pada saat siang hari sehingga proses pendinginan air laut menjadi lambat. Hal ini sesuai dengan konsep perpindahan panas yang tergantung pada temperatur lingkungan, dimana panas akan mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Secara keseluruhan dari perancangan, realisasi dan pengujian sistem, dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Perancangan sensor suhu yang telah dibuat cukup akurat, dimana suhu terukur pada termometer sama dengan suhu yang ditampilkan pada LCD meskipun pada keluaran sensor LM35 masih terdapat selisih 1 hingga 2 mV.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 3 liter, 4 liter, dan 5 liter air laut di *plant* model dalam mencapai *setpoint* secara berturut-turut selama 2 menit, 2,5 menit dan 3 menit, sedangkan untuk pendinginan air laut pada *plant* model menggunakan 3 liter selama 10,5 menit, 4 liter selama 15 menit, dan 5 liter selama 19 menit.
3. Keseluruhan sistem pengontrolan temperatur hasil perancangan menunjukkan bahwa alat yang telah dibuat mampu menjaga suhu air laut dalam *plant* model sesuai dengan *setpoint* yaitu pada suhu 28 °C dengan toleransi  $\pm 0,5$  °C.

#### **5.2. Saran**

1. LM35 sebagai sensor suhu harus terisolasi dengan baik agar tidak kemasukan air yang dapat menyebabkan kerusakan pada sensor itu sendiri.
2. Tegangan keluaran sensor LM35 perlu ditambahkan Op-Amp agar pembacaan suhu yang ditampilkan LCD lebih akurat dan dapat di kalibrasi.
3. Harus ada sistem pendingin alternatif lain yang dapat meminimalkan waktu pendinginan.
4. Penelitian ini bisa dikembangkan dengan menggunakan metode yang tepat agar sistem dapat bekerja lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Umboh, Ronald, 2007, *Perancangan Alat Pendinginan Portable Menggunakan Elemen Peltier*, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [2]. Akbar, Syamsul & Sudaryanto, 2001, *Pembenihandan Pembesaran Ikan Kerapu Bebek*, PenebarSwadaya, Jakarta.
- [3]. Prasepty, Nanda Dwi, 2008, *Sistem Pengontrolan Temperatur Air Pada Tangki Air Panas (Hot Water Tank)*, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [4]. Hamid, Ahmad Abu, 2007, *Diktat Kuliah Kalordan Termodinamika*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [5]. Wirayuda, BimoSakti, 2012, *Pengembangan Alat Cryosurgery Prototype V Berbasis Termoelektrik Bertingkat*, Universitas Indonesia, Depok.
- [6]. Hendy, 2011, *Pembuatan Alat Pemanas-Pendingin Makanan dan Minuman Portabel Hemat Energi Berbasis Termoelektrik*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [7]. Rahman, Maman, 2013, *Analisis Pendinginan Coolbox Termoelektrik dengan Menggunakan Photovoltaic Sebagai Sumber Energi*, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [8]. Culp, Archi W, 1996, *Prinsip-prinsip Konversi Energi*, Erlangga, Jakarta.
- [9]. Cooper, William David, 1985, *Instrumentasi Elektronika dan Teknik Pengukuran*, Erlangga, Jakarta.
- [10]. Usher, MJ, 1989. *Sensors And Transducers*, Macmillan Education, London.
- [11]. \_\_\_\_\_, 2013, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor*, Texas Instruments Inc.
- [12]. Putra, Rico Bernando, 2011, *Robot Berkaki Empa tpada Aplikasi Penjejak Cahaya*, TeknikElektro UNIB, Bengkulu
- [13]. \_\_\_\_\_, 2006, *Datasheet ATmega8535(L) Complete*, Atmel
- [14]. \_\_\_\_\_, *Liquid Crystal Display Model M1632 User Manual*, Seiko Instrument Inc.
- [15]. Waruwu, Linik Atusanti, 2010, *Aplikasi Mikrokontroler AT89S52 Sebagai Basis Pada Perancangan Sistem Pengontrolan Suhu Ruangan Dengan Menggunakan Sensor LM35*, Universitas Sumatra Utara, Medan



- [16]. Nalwan, Paulus Andi, 2003, *Panduan Praktis Teknik Antar Muka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- [17]. Sutarno, Heri & Rachmatin, Dewi, 2005, *Metode Numerik dengan Pendekatan Algoritmik*, Sinar Baru Algensindo, Bandung

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 :Listing Program

```
'=====
Program pengatur suhu air otomatis
' Nama : Johan
' NPM : G1D007013
'=====

$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 1200000

'=====
' Konfigurasi LCD
'=====

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portb.3 , Db5 = Portb.2 , Db6 = Portb.1 , Db7 =
Portb.0 , E = Portb.4 , Rs = Portb.5
Config Lcd = 16 * 2
Deflcdchar1 , 28 , 20 , 28 , 32 , 32 , 32 , 32 , 32
Cursor Off
Cls
Upperline
Lcd " Johan"
Lowerline
Lcd " G1D007013 "
Wait 2

'=====
' Konfigurasi ADC
'=====

Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
Start Adc

'=====
' Konfigurasi Output
'=====

Config Portd = Output

'=====
' Konfigurasi Keypad
'=====

Config Kbd = Portc

'=====
'Deklarasi Variabel
'=====

Dim Lm As Word , N As Word , Smax As Single , Smin As Single , Snor As
Single
Dim Suhu(2) As Single , Rsuhu As Single
```

```
Dim Ninput As Byte ,Sp_set As Single , Suhu As Byte , Sinp As Byte , X As  
Byte  
Dim SsAsEram Single
```

```
Cls  
Sp_set = Ss
```

```
'=====
```

```
'Program Utama
```

```
'=====
```

```
Do  
    For X = 1 To 2  
        N = Getadc(x)  
        N = N * 5  
        Suhu(x) = N / 10  
    Next X  
    Suhu(1) = Suhu(1)  
    Suhu(2) = Suhu(2)  
    Rsuhu = Suhu(1) + Suhu(2)  
    Rsuhu = Rsuhu / 2
```

```
Ninput = Getkbd()
```

```
Waitms 200  
Uppeline  
Lcd "S1=" ; Fusing(suhu(1) , "#.#") ;  
Lcd " S2=" ; Fusing(suhu(2) , "#.#") ;  
Lowerline  
Lcd "SR=" ; Fusing(rsuhu , "#.#") ;  
Lcd " SP=" ;Sp_set  
Smax = Sp_set + 0.5  
Smin = Sp_set - 0.5  
Snor = Sp_set  
    If Rsuhu>Smax Then  
Waitms 200  
        Portd.0 = 0  
Waitms 200  
        Portd.1 = 1  
    ElseIf Rsuhu<Smin Then  
Waitms 200  
        Portd.1 = 0  
Waitms 200  
        Portd.0 = 1  
    ElseIf Rsuhu = Snor Then  
Waitms 200  
        Portd.0 = 0  
        Portd.1 = 0  
    End If
```

```
'=====
'PengaturanSetpoin
'=====
```

```
    Loop Until Ninput = 3
GosubTunggu
Cls
    Lm = 1
Do
Upperline
Lcd "Atursetpoin(" ; Chr(1) ; "C)"
Lowerline
Lcd "Set = " ; Sp_set
Ninput = Getkbd()
Sinp = Ninput
GosubTunggu
```

```
If Sinp = 0 Then
Suhud = 1
GosubItung
ElseifSinp = 1 Then
Suhud = 4
GosubItung
ElseifSinp = 2 Then
Suhud = 7
GosubItung
ElseifSinp = 4 Then
Suhud = 2
GosubItung
ElseifSinp = 5 Then
Suhud = 5
GosubItung
ElseifSinp = 6 Then
Suhud = 8
GosubItung
ElseifSinp = 7 Then
Suhud = 0
GosubItung
ElseifSinp = 8 Then
Suhud = 3
GosubItung
ElseifSinp = 9 Then
Suhud = 6
GosubItung
ElseifSinp = 10 Then
Suhud = 9
GosubItung
ElseifSinp = 11 Then
GosubHapus
```

```
Else  
Waitms 1  
End If
```

```
Loop Until Sinp = 3  
Cls  
Upperline  
Lcd "Please Wait..."  
Wait 2  
Lowerline  
Lcd " Tersimpan"  
Wait 2  
Goto Main
```

```
'=====
```

```
'Sub Program
```

```
'=====
```

```
Main:  
Ss = Sp_set
```

```
Itung:  
If Lm = 10 Then  
Sp_set = Sp_set * Lm  
Sp_set = Sp_set + Suhud  
Else  
Sp_set = Suhud  
End If  
Lm = 10  
If Sp_set > 100 Then  
Lowerline  
Lcd "DiatasNilai Max"  
Waitms 200  
Sp_set = Ss  
Lm = 1  
End If  
Cls  
Return
```

```
Hapus:  
Sp_set = 0  
Lm = 1  
Cls  
Return  
Tunggu:  
Do  
Ninput = Getkbd()  
Loop Until Ninput = 16  
Return
```

## Lampiran 2 :Data Hasil Pengujian

Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis saat Pendinginan

Volume Air : 3 Liter

Tanggal : 21, 22 Mei 2014

| TL               | 30 °C            |                  | 30 °C            |                  | 30 °C            |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Waktu<br>(Detik) | Percobaan 1      |                  | Percobaan 2      |                  | Percobaan 3      |                  |
|                  | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) |
| 0                | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               |
| 60               | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               |
| 120              | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               | 29               |
| 180              | 28,5             | 29               | 28,5             | 29               | 28,5             | 28,5             |
| 240              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             |
| 300              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             |
| 360              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             |
| 420              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             |
| 480              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             |
| 540              | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28,5             | 28               |
| 600              | 28               | 28               | 28               | 28               | 28               | 28               |

Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis Saat Pemanasan

Volume Air : 3 Liter

Suhu Lingkungan : 21, 22 Mei 2014

| TL               | 27,5 °C          |                  | 27,5 °C          |                  | 28 °C            |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Waktu<br>(Detik) | Percobaan 1      |                  | Percobaan 2      |                  | Percobaan 3      |                  |
|                  | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) | Sensor 1<br>(°C) | Sensor 2<br>(°C) |
| 0                | 27               | 27               | 27               | 27               | 27               | 27               |
| 30               | 27               | 27               | 27,5             | 27               | 27,5             | 27,5             |
| 60               | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 27,5             |
| 90               | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 27,5             | 28               |
| 120              | 28               | 28               | 28               | 28               | 28               | 28               |

Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis saat Pendinginan

Volume Air : 4 Liter

Tanggal : 19,20 Mei 2014

| TL            | 30 °C         |               | 30 °C         |               | 30 °C         |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Waktu (Detik) | Percobaan 1   |               | Percobaan 2   |               | Percobaan 3   |               |
|               | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) |
| 0             | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 60            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 120           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 180           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 240           | 29            | 29            | 29            | 29            | 28,5          | 29            |
| 300           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 29            | 28,5          | 28,5          |
| 360           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 420           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 480           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 540           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 600           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 660           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 720           | 28,5          | 28            | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 780           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 840           | 28            | 28            | 28,5          | 28,5          | 28            | 28,5          |
| 900           | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            |

Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis saat Pemanasan

Volume Air : 4 Liter

Tanggal : 19, 20 Mei 2014

| TL            | 27,5 °C       |               | 27,5 °C       |               | 27 °C         |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Waktu (Detik) | Percobaan 1   |               | Percobaan 2   |               | Percobaan 3   |               |
|               | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) |
| 0             | 27            | 27            | 27            | 27            | 27            | 27            |
| 30            | 27            | 27,5          | 27            | 27            | 27            | 27            |
| 60            | 27,5          | 27,5          | 27,5          | 27,5          | 27            | 27,5          |
| 90            | 27,5          | 27,5          | 27,5          | 27,5          | 27,5          | 27,5          |
| 120           | 27,5          | 28            | 27,5          | 28            | 27,5          | 27,5          |
| 150           | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            |



Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis saat Pendinginan

Volume Air : 5 Liter

Tanggal : 15,16, 17 Mei 2014

| TL            | 30 °C         |               | 30 °C         |               | 30 °C         |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Waktu (Detik) | Percobaan 1   |               | Percobaan 2   |               | Percobaan 3   |               |
|               | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) | Sensor 1 (°C) | Sensor 2 (°C) |
| 0             | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 60            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 120           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 180           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 240           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 300           | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            | 29            |
| 360           | 29            | 28,5          | 29            | 29            | 28,5          | 28,5          |
| 420           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 29            | 28,5          | 28,5          |
| 480           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 540           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 600           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 660           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 720           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 780           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 840           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 900           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 960           | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 1020          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          | 28,5          |
| 1080          | 28            | 28,5          | 28            | 28,5          | 28            | 28            |
| 1140          | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            | 28            |

Data Hasil Pengujian Alat Pengatur suhu otomatis saat Pemanasan

Volume Air : 5 Liter

Tanggal : 15, 16, 17 Mei 2014

| TL            | 27,5 °C         |                 | 27,5 °C         |                 | 27,5 °C         |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Waktu (Detik) | Percobaan 1     |                 | Percobaan 2     |                 | Percobaan 3     |                 |
|               | Sensor 1 ( °C ) | Sensor 2 ( °C ) | Sensor 1 ( °C ) | Sensor 2 ( °C ) | Sensor 1 ( °C ) | Sensor 2 ( °C ) |
| 0             | 27              | 27              | 27              | 27              | 27              | 27              |
| 30            | 27              | 27              | 27              | 27              | 27              | 27              |
| 60            | 27              | 27              | 27,5            | 27              | 27              | 27,5            |
| 90            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            |
| 120           | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            |
| 150           | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            | 27,5            |
| 180           | 27,5            | 28              | 27,5            | 27,5            | 28              | 27,5            |
| 210           | 27              | 28              | 28              | 28              | 28              | 28              |

### Lampiran 3 :Perhitungan

#### 1. Perhitungan untuk Karakteristik sensor

- Untuk 25 °C  
 $25 \times 10 = 250 \text{ mV}$
- Untuk 26°C  
 $26 \times 10 = 260 \text{ mV}$
- Untuk 27°C  
 $27 \times 10 = 270 \text{ mV}$
- Untuk 28°C  
 $28 \times 10 = 280 \text{ mV}$
- Untuk 29°C  
 $29 \times 10 = 290 \text{ mV}$
- Untuk 30°C  
 $30 \times 10 = 300 \text{ mV}$
- Untuk 31°C  
 $31 \times 10 = 310 \text{ mV}$
- Untuk 32°C  
 $32 \times 10 = 320 \text{ mV}$
- Untuk 33°C  
 $33 \times 10 = 330 \text{ mV}$
- Untuk 34°C  
 $34 \times 10 = 340 \text{ mV}$

#### 2. Perhitungan Error

- Untuk 25 °C  
$$e = |250 \text{ mV} - 249 \text{ mV}| = 1 \text{ mV}$$
$$e_r = \frac{1}{250} \times 100\% = 0,4\%$$
- Untuk 26°C
  - $e = |260 \text{ mV} - 260 \text{ mV}| = 0 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{0}{260} \times 100\% = 0,0\%$

- Untuk 27°C
  - $e = |270 \text{ mV} - 270 \text{ mV}| = 0 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{0}{270} \times 100\% = 0,0\%$
- Untuk 28°C
  - $e = |280 \text{ mV} - 281 \text{ mV}| = 1 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{280} \times 100\% = 0,36\%$
- Untuk 29°C
  - $e = |290 \text{ mV} - 290 \text{ mV}| = 0 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{0}{290} \times 100\% = 0,0\%$
- Untuk 30°C
  - $e = |300 \text{ mV} - 299 \text{ mV}| = 1 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{300} \times 100\% = 0,33\%$
- Untuk 31°C
  - $e = |310 \text{ mV} - 310 \text{ mV}| = 0 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{310} \times 100\% = 0,0\%$
- Untuk 32°C
  - $e = |320 \text{ mV} - 320 \text{ mV}| = 0 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{320} \times 100\% = 0,0\%$
- Untuk 33°C
  - $e = |330 \text{ mV} - 331 \text{ mV}| = 1 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{330} \times 100\% = 0,3\%$
- Untuk 34°C
  - $e = |340 \text{ mV} - 338 \text{ mV}| = 2 \text{ mV}$
  - $e_r = \frac{1}{340} \times 100\% = 0,3\%$

### 3. Perhitungan Beban Kalor

- Untuk 4 liter
 
$$Q_b = 4 \times 3900 \times 1$$

$$Q_b = 15600 \text{ Joule}$$

- Untuk 5 liter

$$Q_b = 5 \times 3900 \times 1$$

$$Q_b = 19500 \text{ Joule}$$

#### 4. Perhitungan Waktu Pendinginan

- Untuk 4 liter

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_c}$$

$$t = \frac{15600}{2 \times 12,7}$$

$$t = 614 \text{ detik}$$

- Untuk 5 liter

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_c}$$

$$t = \frac{19500}{2 \times 12,7}$$

$$t = 767 \text{ detik}$$

#### 5. Perhitungan Waktu Pemanasan

- Untuk 4 liter

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_c}$$

$$t = \frac{15600}{2 \times 66,7}$$

$$t = 117 \text{ detik}$$

- Untuk 5 liter

$$t = \frac{Q_b}{2 \times Q_c}$$

$$t = \frac{19500}{2 \times 66,7}$$

$$t = 146 \text{ detik}$$

## Lampiran 4 :Dokumentasi Alat

Gambar Alat





## Proses Pengambilan Data Pengujian



## Proses Pengerjaan Alat

