

RANCANG BANGUN ALAT PENGONDISI TEMPERATUR AIR PADA BUDI DAYA UDANG *CRYSTAL RED*

DESIGN AND CONSTRUCTION OF WATER TEMPERATURE CONDITIONER IN AQUARIUM OF CRYSTAL RED SHRIMP CULTIVATION

¹Rio Nugroho, ²Dr. Abrar Ismardi, ³Tri Ayodha Ajiwiguna, M.Eng.

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹nugrohorio@outlook.com, ²abrarselah@gmail.com, ³tri.ayodha@gmail.com

Abstrak

Salah satu aspek terpenting dalam budi daya udang hias adalah temperatur air yang harus dijaga pada temperatur optimal. Umumnya, temperatur air yang optimal untuk habitat udang hias adalah 22-25 °C. Kalor dari lingkungan dapat masuk melalui kaca dan permukaan air, sehingga menjadi beban pendinginan. Pada penelitian ini, yang dimanfaatkan untuk menurunkan temperatur air adalah sisi dingin *thermoelectric*. Beban pendinginan akuarium kaca dengan wadah 30cm×20cm×25cm, tebal kaca 6 mm dan volume air 6,6 liter yang menggunakan pompa air 18 watt adalah sebesar 19,16 watt. Nilai beban pendinginan ini jika temperatur lingkungan berada pada 30°C dan temperatur air 24°C. Hasilnya adalah pada percobaan menggunakan satu buah TEC, kalor dapat diserap sebesar 18,87 watt. Pada percobaan menggunakan dua buah TEC, masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 12,06 watt. Pada percobaan menggunakan tiga buah TEC, masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 9,32 watt. Alat yang dibuat pada penelitian ini dapat menurunkan dan menjaga temperatur air sampai dengan 24°C dengan tingkat ketelitian ± 0,1°C.

Kata kunci: pendingin, *thermoelectric*, beban pendinginan.

Abstract

One of the most important aspects in the cultivation of ornamental shrimp is the temperature of the water must be kept at the optimum temperature . Generally, the optimal water temperature for ornamental shrimp habitat is 22-25 ° c. Heat from the environment can enter through the glass and the water surface, so that it becomes a cooling load. In this study, which is used to decrease the water temperature was cold thermoelectric side. The cooling load of glass aquariums is 19.16 watts, with a size of 30 cm × 20 cm × 25 cm, thickness 6 mm and the maximum volume of water 6.6 litres and uses 18 watts water pump. The value of this cooling load if the temperature of the environment are at 30°C and 24°C water temperature. The result is an experiment using single TEC, heat can be absorbed of 18.87 watts. In an experiment using two TEC, each TEC can absorb heat of 12.06 watts. In an experiment using three TEC, TEC can absorb heat of 9.32 watts. Tool made in this study can decrease and keep the water temperature at 24°C with a level of accuracy ± 0,1 °C.

Keywords: chiller, *thermoelectric*, cooling load.

1. Pendahuluan

Untuk melakukan budi daya udang hias ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Mulai dari pH air, kesadahan air, serta temperatur air, dan lain-lain[1]. Untuk budi daya udang hias, air akuarium sebaiknya dijaga pada temperatur tertentu. Umumnya, udang hias dapat berkembang biak secara optimal pada rentang temperatur air 22-25 °C[2]. Sedangkan temperatur air yang diletakkan di ruangan, biasanya berkisar 25-30 °C. Jika udang hias dibiarkan hidup di luar temperatur optimal, maka akibatnya tubuh dan warna dari udang hias akan menjadi kurang menarik.

Thermoelectric merupakan sebuah perangkat yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi kalor. Satu sisi pada *thermoelectric* akan menjadi panas dan satu sisi lainnya akan menjadi dingin apabila diberikan arus listrik. Oleh sebab itu, akan dibuat alat yang memanfaatkan sisi dingin dari *thermoelectric* untuk menurunkan temperatur air akuarium. Pemilihan *thermoelectric* sebagai komponen utama pendingin disebabkan cara pemakaiannya yang sederhana dan dapat dibawa dan dipindahkan dengan mudah.

Beban yang akan didinginkan pada penelitian ini adalah air yang berada di dalam akuarium. Dari kasus tersebut, pada tugas akhir ini akan dibuat alat pengondisi temperatur air yang akan digunakan pada akuarium budi daya udang hias khususnya udang *Crystal Red*, sebagai solusi dari masalah yang telah dijelaskan sebelumnya.

2. Dasar Teori

2.1 Perhitungan Beban Pendinginan

Akuarium yang akan dihitung beban pendinginannya adalah akuarium GEX Glassterior 300 yang berukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm dan tinggi 25 cm, dengan ketebalan 6 mm. Massa akuarium tanpa air yaitu 4.1 kg, dan kapasitas air maksimal lebih kurang 13.5 liter.



Gambar 2.1: Akuarium GEX Glassterior 300.

2.1.1 Beban Pendingin Melalui Kaca

Kalor yang masuk melalui kaca secara simultan. Pada kasus ini, kalor melewati dua buah hambatan yaitu udara dan kaca. Pada udara, kalor mengalami peristiwa konveksi menuju permukaan luar kaca. Lalu kalor yang diterima permukaan luar kaca diteruskan sampai ke permukaan dalam kaca dan akhirnya diserap oleh air sebagai beban pendinginan.

Untuk mendapatkan nilai Q_{kaca} , ada beberapa tahap yang harus dilakukan, yaitu:

- 1) Mencari nilai koefisien ekspansi volume (β).

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{1}{2} (T_s + T_\infty)\right) + 273} \tag{2.1}$$

- 2) Mencari nilai bilangan Grashof (G_r).
 Di mana T_s adalah temperatur permukaan, T_∞ adalah temperatur lingkungan. Panjang karakteristik medium yang berposisi di permukaan dibagi keliling. Nilai β dan ΔT kedua-duanya dapat diinai dengan Tabel 2.1 berikut.

$$G_r = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \tag{2.2}$$

- 3) Mencari nilai bilangan Rayleigh (R_a).
 Di mana g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), β adalah nilai koefisien ekspansi volume (K^{-1}), ΔT adalah selisih temperatur lingkungan dengan temperatur permukaan medium (K), L adalah panjang karakteristik (m) dan ν adalah viskositas kinematik (m^2/s).

- 4) Mencari nilai bilangan Nusselt (N_u).
 Bilangan Rayleigh merupakan bilangan tak berdimensi, dapat dihitung dengan perkalian antara bilangan Grashof dan bilangan Prandtl (Pr)[3].

$$R_a = G_r \cdot Pr \tag{2.3}$$

- 4) Mencari nilai bilangan Nusselt (N_u).
 Persamaan 2.4 adalah perhitungan untuk mencari bilangan Nusselt berdasarkan bilangan Rayleigh yang telah didapat sebelumnya.

$$N_u = 0.825 + \frac{0.387 R_a^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{16}\right]^{1/4}} \tag{2.4}$$

- 5) Mencari nilai koefisien perpindahan panas (h).
 Nilai koefisien perpindahan panas, dapat dihitung dengan persamaan 2.5.

$$h = \frac{N_u k}{L} \tag{2.5}$$

- 6) Mencari nilai Q_{kaca} .
 Di mana h adalah nilai koefisien perpindahan panas ($W/m \cdot K$), N_u adalah bilangan Nusselt, dan k adalah konduktivitas termal udara ($W/m \cdot K$).

Nilai dari laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan 2.6. Di mana A merupakan luas permukaan yang dipengaruhi konveksi (m²).

$$Q_{konveksi} = h A \Delta T \quad (W) \quad (2.6)$$

Dari enam tahap tersebut, maka laju perpindahan panas konveksi dihitung pada beberapa kondisi kemungkinan. Mulai dari temperatur udara terendah yaitu 24°C sampai dengan batas temperatur udara tertinggi yaitu 30°C. Untuk mendapatkan nilai laju perpindahan panas konduksi, dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7.

$$Q_{konveksi} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = - \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad (2.7)$$

Di mana $Q_{konveksi}$ adalah laju perpindahan panas konduksi (watt), k adalah konduktivitas termal medium dan A adalah luas permukaan medium (m²), Δx adalah selisih temperatur permukaan luar dan permukaan dalam (°C).

2.1.2 Beban Pendinginan Melalui Air

Kalor yang masuk melalui permukaan air adalah proses konveksi dari udara menuju air. Langkah-langkah mencari nilai $Q_{konveksi}$ melalui permukaan air sama dengan mencari nilai $Q_{konveksi}$ melalui kaca. Hanya saja, kondisi yang digunakan untuk mencari $Q_{konveksi}$ melalui permukaan air cukup satu kondisi, yaitu ketika temperatur udara luar 30°C dan temperatur air 24°C. Karena pada kondisi tersebut, merupakan laju $Q_{konveksi}$ yang paling besar.

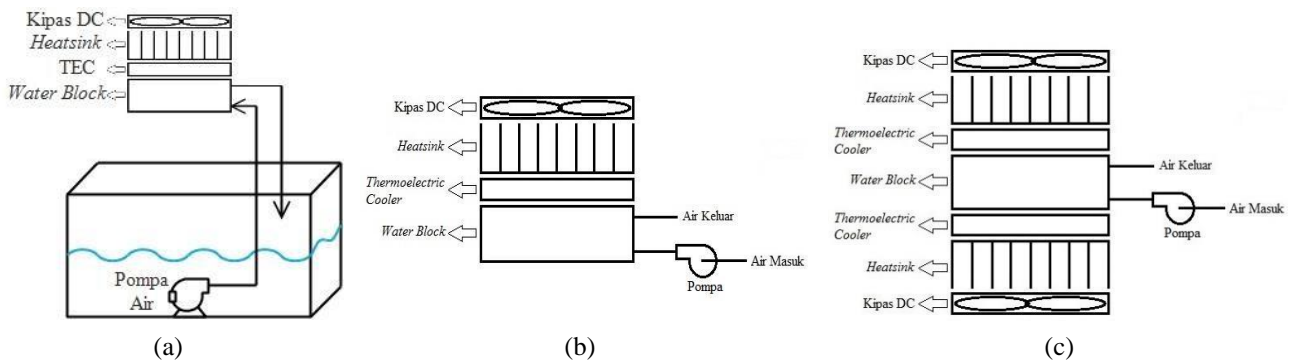
3. Desain dan Perancangan

3.1 Pemilihan TEC

Setelah mendapatkan beban pendinginan akuarium dalam satuan watt, langkah selanjutnya adalah pemilihan TEC sesuai dengan beban pendinginan akuarium. Jika TEC tidak mencapai nilai beban pendinginan akuarium, maka dapat digunakan beberapa TEC. Setiap TEC memiliki *datasheet* untuk mengetahui performa TEC ketika beroperasi, contohnya adalah TEC tipe TEC-12706 yang membutuhkan tegangan 12 volt dan arus maksimal 6 ampere ketika beroperasi.

3.2 Desain Alat

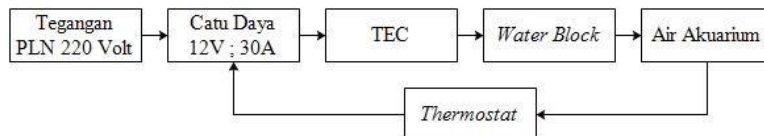
Skema dari alat pengondisian temperatur air akuarium dapat dilihat pada Gambar 3.2. Sisi panas TEC akan ditempelkan dengan *heatsink* untuk menciptakan temperatur sisi panas yang serendah-rendahnya. Bagian atas *heatsink* akan dipasangkan kipas DC dengan aliran udara menuju atas untuk membuang kalor yang tersimpan pada *heatsink*. Untuk sisi dingin dari TEC akan ditempelkan dengan *water block*, bertujuan untuk mendinginkan air yang mengalir di dalamnya. Air yang berasal dari akuarium akan dipompa mengalir melalui *water block* dan akan kembali lagi menuju akuarium.



Gambar 3.1: (a) Skema Alat Pengondisian Temperatur Air Akuarium. (b) *Water block* yang dipasang dengan satu TEC. (c) *Water block* yang dipasang dengan dua TEC.

3.3 Alur Kerja Alat

Sumber tegangan 220 volt masuk ke catu daya 12V;30A. dihubungkan dengan TEC. Sisi dingin dari TEC ditempelkan dengan *water block*. *Water block* merupakan penghubung antara TEC dengan air akuarium. Karena air akuarium akan dialirkan melewati *waterblock* dan keluarannya akan masuk kembali ke akuarium, yang bertujuan untuk menurunkan temperatur air. Jika temperatur air sudah mencapai 24°C, maka sensor *thermostat* akan membacanya dan *relay* pada *thermostat* akan memutus aliran listrik menuju TEC. Gambar 3.6 berikut adalah diagram alir kerja alat..

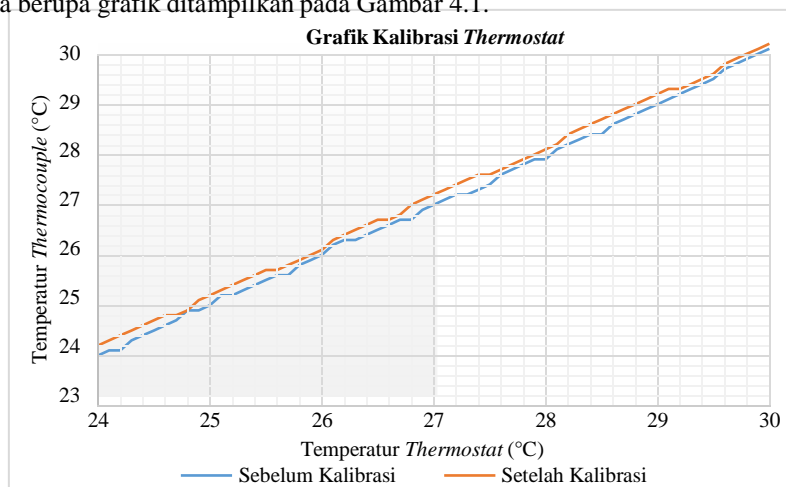


Gambar 3.2: Diagram Alir Kerja Alat.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kalibrasi *Thermostat* XH-W1209

Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data temperatur air akuarium secara bersama-sama menggunakan *thermostat* XH-W1209 dan *thermocouple* tipe-T yang terhubung dengan *data logger* HUATO HE804 sebagai kalibrator. Pengambilan data dilakukan pada rentang temperatur air 24-30 °C. Data kalibrasi *thermostat* ada pada Lampiran 2, dan data berupa grafik ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Grafik Kalibrasi *Thermostat*.

Sebelum dilakukan kalibrasi, rata-rata selisih nilai yang ditunjukkan *thermostat* lebih tinggi 0,2 dibandingkan *thermocouple*, dengan rata-rata nilai *error* 0,75%. Sehingga untuk pengaturan P4 pada *thermostat* diatur pada nilai - 0,2. Garis biru pada Gambar 4.2 merupakan grafik sebelum kalibrasi sedangkan garis oranye merupakan grafik setelah kalibrasi. Setelah dilakukan kalibrasi, rata-rata selisih nilai yang ditunjukkan *thermostat* lebih tinggi 0,03 dibandingkan *thermocouple*, dengan rata-rata nilai *error* 0,12%. Dengan nilai *error* yang kecil, dapat dikatakan *thermostat* yang digunakan akurat.

4.2 Perhitungan Beban Pendinginan

4.2.1 Beban Pendinginan Melalui Kaca Depan atau Belakang

Tabel 4.1 merupakan tabel perhitungan kalor yang masuk melalui proses konveksi pada kaca depan atau belakang. Pada tabel tersebut, temperatur permukaan luar kaca dihitung dalam beberapa nilai. Sedangkan Tabel 4.2 merupakan tabel perhitungan kalor yang masuk melalui proses konduksi pada kaca depan atau belakang.

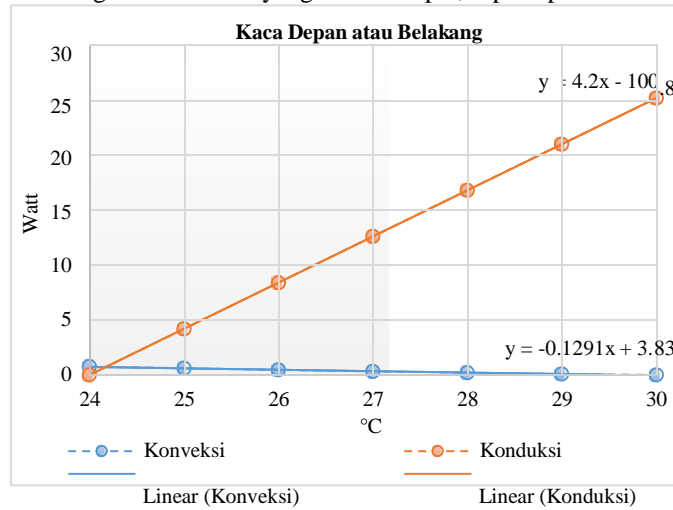
Tabel 4.1: Perhitungan Konveksi Melalui Kaca Depan atau Belakang.

Konveksi Kaca Depan atau Belakang							
Temperatur Udara - Permukaan Kaca Luar (°C)							
	ΔT 30-24	ΔT 30-25	ΔT 30-26	ΔT 30-27	ΔT 30-28	ΔT 30-29	ΔT 30-30
Q	0.76	0.61	0.46	0.32	0.19	0.08	0

Tabel 4.2: Perhitungan Konduksi Melalui Kaca Depan atau Belakang.

Konduksi Kaca Depan atau Belakang							
Temperatur Kaca Luar - Kaca Dalam							
	ΔT 24-24	ΔT 25-24	ΔT 26-24	ΔT 27-24	ΔT 28-24	ΔT 29-24	ΔT 30-24
Q	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2

Setelah mendapatkan data temperatur dari seluruh kemungkinan kondisi permukaan luar kaca yang berubah-ubah, selanjutnya adalah membuat grafik dari data yang telah didapat, seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik Perpotongan Nilai Konveksi dan Konduksi pada Kaca Depan atau Belakang.

Pada Gambar 4.2 dapat dihitung titik potong antara grafik konveksi $y = -0.1291x + 3.83$ dan grafik konduksi $y = 4.2x - 100.8$. Sehingga temperatur permukaan luar kaca adalah 24.169°C dan kalor yang masuk melalui satu sisi kaca depan atau belakang sebesar 0.71 watt.

4.2.2 Beban Pendinginan Melalui Kaca Depan atau Belakang

Tabel 4.3 merupakan tabel perhitungan kalor yang masuk melalui proses konveksi pada kaca kanan atau kiri. Pada tabel tersebut, temperatur permukaan luar kaca dihitung dalam beberapa nilai. Sedangkan Tabel 4.4 merupakan tabel perhitungan kalor yang masuk melalui proses konduksi pada kaca kanan atau kiri.

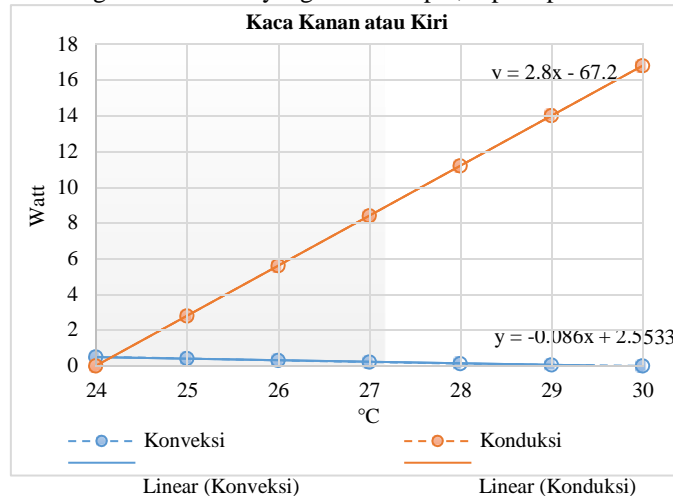
Tabel 4.3: Perhitungan Konveksi Melalui Kaca Kanan atau Kiri.

Konveksi Kaca Kanan atau Kiri							
Temperatur Udara - Permukaan Kaca Luar (°C)							
	ΔT 30-24	ΔT 30-25	ΔT 30-26	ΔT 30-27	ΔT 30-28	ΔT 30-29	ΔT 30-30
Q	0.51	0.40	0.31	0.21	0.13	0.05	0

Tabel 4.4: Perhitungan Konduksi Melalui Kaca Kanan atau Kiri.

Konduksi Kaca Kanan atau Kiri							
Temperatur Kaca Luar - Kaca Dalam (°C)							
	ΔT 24-24	ΔT 25-24	ΔT 26-24	ΔT 27-24	ΔT 28-24	ΔT 29-24	ΔT 30-24
Q	0	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.8

Setelah mendapatkan data temperatur dari seluruh kemungkinan kondisi permukaan luar kaca yang berubah-ubah, selanjutnya adalah membuat grafik dari data yang telah didapat, seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Grafik Perpotongan Nilai Konveksi dan Konduksi pada Kaca Kanan atau Kiri.

Pada Gambar 4.3 dapat dihitung titik potong antara grafik konveksi $y = -0.086x + 2.5533$ dan grafik konduksi $y = 2.8x - 67.2$. Sehingga temperatur permukaan luar kaca adalah 24.1695°C dan kalor yang masuk melalui satu sisi kaca kanan atau kiri sebesar 0.47 watt.

4.2.3 Beban Pendinginan Melalui Permukaan Air

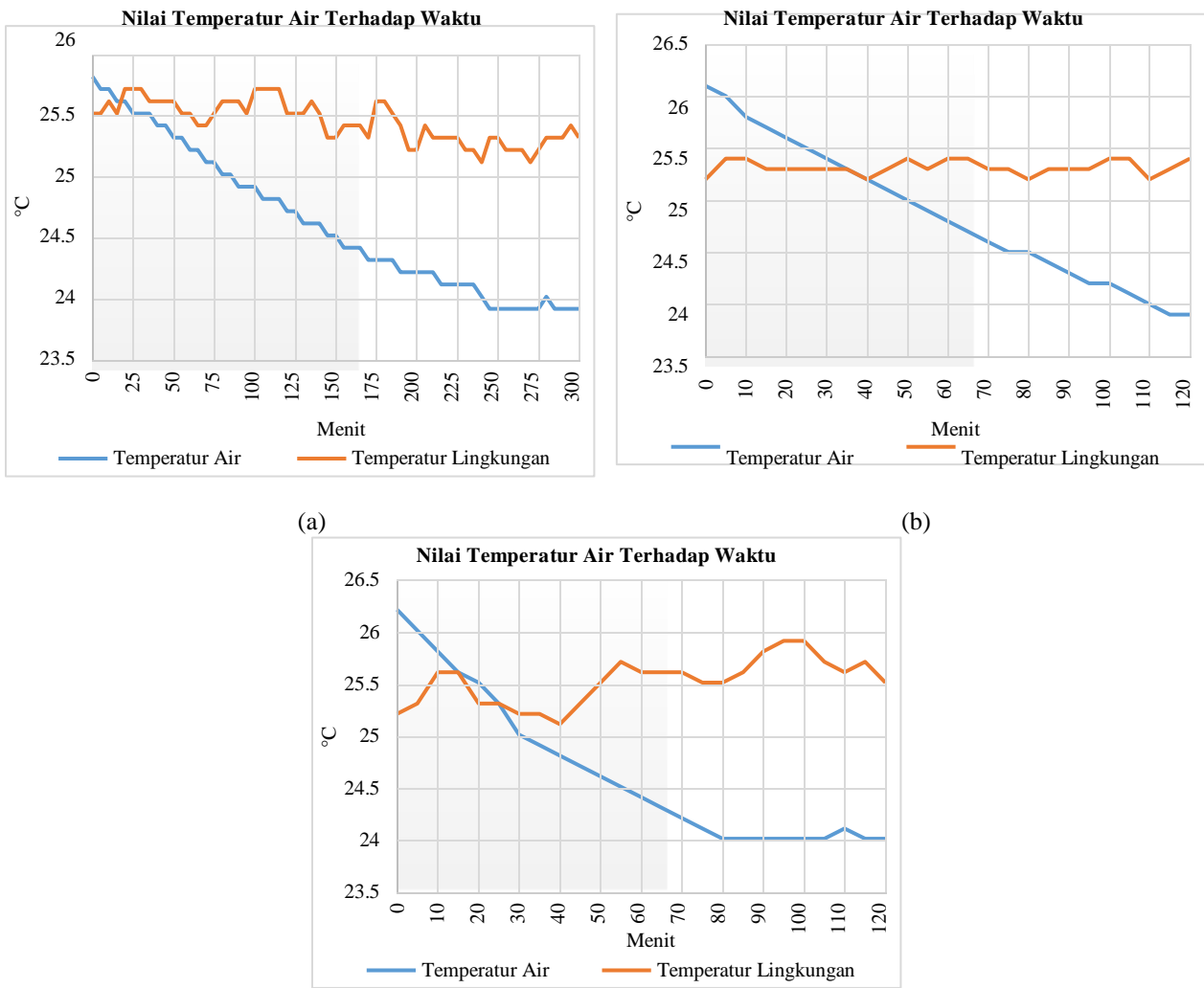
Kondisi perpindahan kalor terbesar adalah ketika temperatur lingkungan berada pada batas tertinggi yaitu 30°C . Sehingga untuk memperhitungkan beban pendinginan melalui permukaan air, cukup menggunakan kondisi pada 30°C yaitu 1.50 watt.

4.2.4 Beban Pendinginan oleh Pompa Air

Efisiensi dari pompa berada pada rentang 15-65,7 % [4]. Jika asumsi bahwa efisiensi pompa 15%, maka sebagian besar sisanya atau sekitar 85% berubah menjadi energi panas. Pompa air yang digunakan dalam penelitian memiliki daya 18 watt. Maka jika diasumsikan pompa memiliki efisiensi terkecil, daya yang terbuang menjadi energi panas adalah 15,3 watt. Jadi, pompa memberikan pengaruh beban pendinginan sebesar 15,3 watt.

4.3 Hasil Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada ruangan yang memenuhi kriteria. Temperatur udara ruangan berada pada rentang 24°C sampai dengan 30°C . Data yang diambil merupakan data temperatur air akuarium dan temperatur udara ruangan, yang akan diambil setiap lima menit. Gambar 4.4(a), Gambar 4.4(b) dan Gambar 4.4(c) merupakan perubahan temperatur air terhadap waktu.



Gambar 4.4: Grafik Hasil Percobaan. (a) Menggunakan Satu TEC. (b) Menggunakan Dua TEC. (c) Menggunakan Tiga TEC.

4.4 Pembahasan

Jika dihitung menggunakan persamaan 4.1 dan persamaan 4.2, energi yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur air dari 25,9°C hingga 24°C pada percobaan menggunakan satu buah TEC adalah sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta T \quad (4.1) \\
 Q &= 6,6 \times 4186 \times (24 - 25,9) \\
 Q &= -52492,44 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Maka dengan durasi waktu sekitar 245 menit, TEC dapat menyerap kalor lebih kurang sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{-Q}{\Delta t} + P_{\text{teknis}} (W_{\text{teknis}}) \quad (4.2) \\
 W &= \frac{52492,44 \text{ J}}{14700 \text{ s}} + 15,3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$W = 18,87 \text{ W}$$

Pada percobaan kedua menggunakan dua buah TEC, energi yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur air dari 26,2°C hingga 24°C adalah sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta T \\
 Q &= 6,6 \times 4186 \times (24 - 26,2) \\
 Q &= -60780,72 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Maka dengan durasi waktu sekitar 115 menit, TEC dapat menyerap kalor sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{-Q}{\Delta t} + P_{\text{teknis}} \\
 W &= \frac{60780,72 \text{ J}}{6900 \text{ s}} + 15,3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$W = 24,11 \text{ W}$$

Atau masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 12,06 watt.

Pada percobaan ketiga menggunakan tiga buah TEC, energi yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur air dari 26,2°C hingga 24°C adalah sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta T \\
 Q &= 6,6 \times 4186 \times (24 - 26,2) \\
 Q &= -60780,72 \text{ J}
 \end{aligned}$$

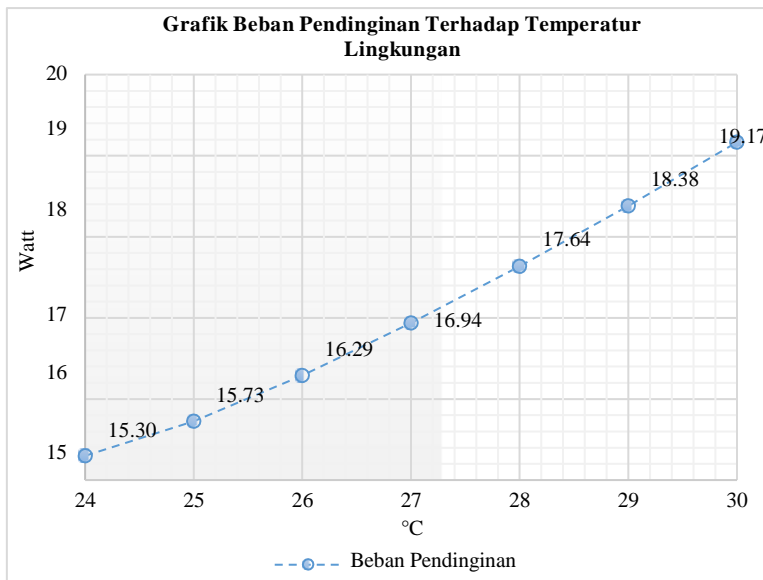
Maka dengan durasi waktu sekitar delapan puluh menit, TEC dapat menyerap kalor sebesar berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{-Q}{\Delta t} + P_{\text{teknis}} \\
 W &= \frac{60780,72 \text{ J}}{4800 \text{ s}} + 15,3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$W = 27,96 \text{ W}$$

Atau masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 9,32 watt.

Jika mengacu pada percobaan menggunakan satu buah TEC, beban pendinginan air akuarium yang diperbolehkan adalah tidak lebih dari 18,87 watt. Untuk mencari tahu batas temperatur lingkungan yang diperbolehkan, dapat menggunakan langkah-langkah ketika mencari beban pendinginan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Gambar 4.5 merupakan grafik beban pendinginan terhadap temperatur lingkungan. Ketika temperatur lingkungan berada pada 30°C, beban pendinginannya adalah 19,16 watt. Nilai tersebut lebih besar dari 18,87 watt, sehingga tidak diperbolehkan. Temperatur lingkungan yang diperbolehkan adalah pada rentang 24-29 °C, karena beban pendinginannya masih berada di bawah 18,87 watt.



Gambar 4.5: Grafik Beban Pendinginan Terhadap Temperatur Lingkungan.

5. Kesimpulan

- 1) Beban pendinginan akuarium kaca dengan wadah 30cm×20cm×25cm, tebal kaca 6 mm, volume air 6,6 liter dan menggunakan pompa air 18 watt adalah sebesar 19,16 watt. Nilai beban pendinginan ini jika temperatur lingkungan maksimal berada pada 30°C dan temperatur air 24°C.
- 2) Rancang bangun alat pengondisi temperatur air yang dibuat pada penelitian ini dapat menurunkan dan menjaga temperatur air sampai dengan 24°C dengan tingkat ketelitian ± 0,1°C.
- 3) Pada percobaan menggunakan satu buah TEC, kalor dapat diserap sebesar 18,87 watt. Pada percobaan menggunakan dua buah TEC, masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 12,06 watt. Pada percobaan menggunakan tiga buah TEC, masing-masing TEC dapat menyerap kalor sebesar 9,32 watt.
- 4) Batas temperatur lingkungan yang diperbolehkan adalah 29°C. Karena pada temperatur lingkungan 29°C beban pendinginan air akuarium sebesar 18,38 watt, yang artinya masih di bawah kapasitas pendinginan satu buah TEC yaitu 18,87 watt.

Daftar Pustaka:

[1]. R. Calado et al.. (2004) *Effects of Temperature, Density, and Diet on Development, Survival, Settlement Synchronism, and Fatty Acid Profile of The Ornamental Shrimp Lysmata seticaudata*. *Aquaculture* 245 (2005) 221– 237.

[2]. <http://www.aquascapeindo.com/udang-hias-air-tawar-red-bee-shrimp-crystal-redshrimp.html> [Diakses 17 Juli 2016].

[3]. Cengel, Y. A. and Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications Fifth Edition*. New York: McGraw-Hill Education.

[4]. Fanxiao Meng et al. (2016). *Study of Efficiency of a Multistage Centrifugal Pump Used In Engine Waste Heat Recovery Application*. *Applied Thermal Engineering* 110 (2017) 779–786.