

**ANALISIS UNJUK KERJA PROTOTYPE PENDINGIN UDANG BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN SUMBER TENAGA PANEL SURYA****Yusma Galih Erza Anugerah<sup>1</sup>, Puput Wanarti Rusimamto<sup>2</sup>, I Gusti Putu Asto Buditjahjanto<sup>3</sup>, Endryansyah<sup>4</sup>**<sup>2,3,etc</sup>S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya[yusma.19060@mhs.unesa.ac.id](mailto:yusma.19060@mhs.unesa.ac.id)**Abstract**

*The degradation of seafood quality such as shrimp, due to high ambient temperatures after harvest poses a significant challenge for coastal fishermen in areas not yet served by the national electricity grid (PLN). Limited energy infrastructure renders cold storage processes inefficient, increases the risk of product spoilage, and reduces the economic value of the commodity. This study aims to analyze the performance of a prototype shrimp cooling system based on an Arduino Uno microcontroller, powered primarily by monocrystalline solar panels. The system utilizes a DHT22 sensor to monitor ambient temperature and a DS18B20 sensor to detect the temperature of the shrimp, a TEC-12706 module as an active Peltier cooling element, and a relay as an automatic switch using ON/OFF control logic. Additionally, MATLAB Simulink simulations are used to compare the system's performance with a Proportional-Integral-Derivative (PID)-based control method. Simulation results show that the system can reduce the temperature from 30°C to 5°C within approximately 1.99 hours and maintain a stable temperature below 10°C for over 4 hours. The total daily energy consumption of 266.43 Wh can be supplied by a 50 Wp solar panel and a 12V 33.3 Ah battery. These findings indicate that the system can operate independently in remote areas without external power sources.*

**Article History**

Submitted: 21 July 2025

Accepted: 30 July 2025

Published: 31 July 2025

**Key Words**

Arduino, Shrimp Cooler, Solar Panels, TEC-12706, Temperature Control.

**Abstrak**

Penurunan mutu hasil tangkapan laut seperti udang akibat paparan suhu lingkungan tinggi pasca panen menjadi tantangan besar bagi nelayan di daerah pesisir yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Keterbatasan infrastruktur energi menyebabkan proses penyimpanan dingin menjadi tidak efisien, berisiko tinggi terhadap kerusakan produk, dan menurunkan nilai ekonomi komoditas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja sebuah prototype sistem pendingin udang berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang menggunakan energi panel surya monocrystalline sebagai sumber daya utama. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu ruang dan sensor DS18B20 mendeteksi suhu objek, modul pendingin TEC-12706 sebagai elemen peltier aktif, serta relay sebagai saklar otomatis dengan logika kontrol ON/OFF. Selain itu, simulasi MATLAB Simulink juga digunakan untuk membandingkan performa sistem dengan kendali berbasis *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan suhu dari 30°C menjadi 5°C dalam waktu  $\pm 1,99$  jam dan menjaga suhu stabil di bawah 10°C selama lebih dari 4 jam. Total konsumsi energi harian sebesar 266,43 Wh dapat dipenuhi dengan panel surya 50 Wp dan baterai 12V 33,3 Ah. Hasil ini menunjukkan sistem dapat dioperasikan secara mandiri di wilayah terpencil tanpa dukungan listrik eksternal.

**Sejarah Artikel**

Submitted: 21 July 2025

Accepted: 30 July 2025

Published: 31 July 2025

**Kata Kunci**

Arduino, Pendingin Udang, Panel Surya, TEC-12706, Kendali Suhu.

**PENDAHULUAN**

Indonesia sebagai negara maritim memiliki kekayaan laut melimpah, termasuk komoditas udang yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Udang merupakan produk yang mudah rusak karena aktivitas mikrobiologis dan reaksi kimia yang dipicu oleh suhu tinggi. Oleh karena itu, pengendalian suhu pasca panen sangat penting untuk mempertahankan mutu dan nilai jual udang (Harris & Fadli, 2014).

Namun, dalam praktiknya, banyak nelayan di daerah terpencil seperti pesisir Sidoarjo dan daerah lain belum memiliki fasilitas pendinginan memadai karena keterbatasan akses terhadap jaringan listrik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengembangan sistem

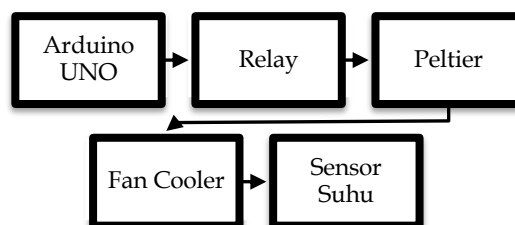
pendingin berbasis energi terbarukan dan sistem kendali otomatis menjadi salah satu solusi yang menjanjikan. Teknologi berbasis mikrokontroler seperti Arduino dapat digunakan untuk mengatur logika pendinginan secara efisien dan hemat daya (Wardah & Rahayu, 2021). Panel surya *monocrystalline* sebagai sumber energi dapat memanfaatkan sinar matahari secara optimal, sehingga sistem dapat bekerja tanpa ketergantungan terhadap listrik PLN. Dengan mengombinasikan sensor suhu, kontrol otomatis, dan sumber energi terbarukan, sistem ini tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga ekonomis dan praktis untuk digunakan oleh nelayan skala kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara menyeluruh unjuk kerja prototype pendingin udang berbasis Arduino dengan panel surya sebagai sumber daya utama melalui pengujian dan simulasi. Aspek yang dianalisis mencakup efektivitas pendinginan, efisiensi energi, dan stabilitas suhu dengan menggunakan kontrol ON/OFF serta PID.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan: perancangan *hardware*, pemrograman sistem kendali, simulasi MATLAB Simulink, dan pengujian lapangan. Perangkat utama dalam sistem ini meliputi Arduino Uno, sensor DHT22, sensor DS18B20, dua unit TEC-12706, relay modul, panel surya monocrystalline 50 Wp, solar charge controller, dan baterai 12V 33,3 Ah.

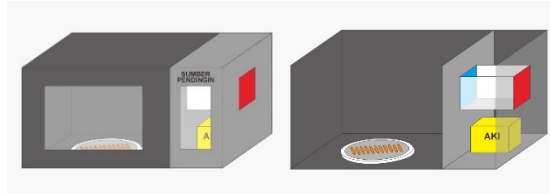
Analisis kebutuhan sistem pendingin mencakup pemilihan Peltier yang sesuai kapasitas pendinginan untuk volume udang tertentu, pengaturan suhu optimal berdasarkan data udang serta hubungan efisiensi dengan panel surya untuk memastikan pasokan daya yang stabil dan berkelanjutan. Metode ini menggabungkan deteksi sensor suhu dan kontrol otomatis yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas udang secara signifikan sesuai dengan standar. Blok diagram rancangan sistem pendingin dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Blok Diagram Sistem Pendingin

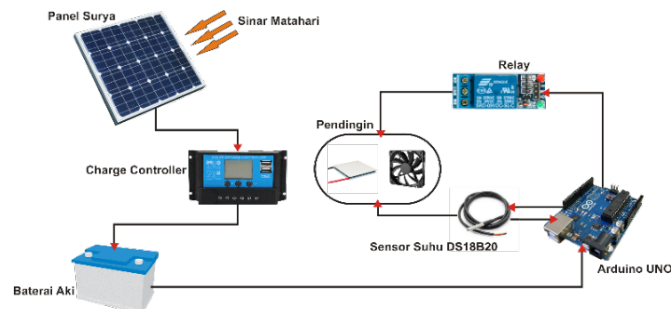
Desain sistem dilakukan dengan menyusun dan mengintegrasikan komponen-komponen utama dalam sebuah wadah pendingin berbahan styrofoam yang telah dimodifikasi agar memiliki isolasi termal yang optimal. Komponen elektronik utama seperti Arduino Uno, sensor DHT22, sensor DS18B20, dan modul relay ditempatkan dalam kotak kelistrikan tahan cuaca, sementara modul TEC-12706 dipasang langsung pada permukaan pendingin bagian dalam untuk mengoptimalkan penyerapan panas dari ruang penyimpanan udang. Desain visual

bentuk *prototype* pendingin udang otomatis dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2 Desain Prototype Pendingin Udang

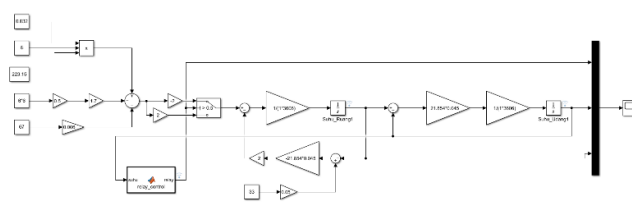
Desain sistem *prototype* pendingin udang otomatis dimulai dari panel surya yang menghasilkan listrik dan disalurkan melalui solar charge controller ke baterai aki sebagai penyimpan daya. Energi dari baterai mengaktifkan Arduino, yang mengontrol relay sebagai saklar otomatis. Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu ruang pendingin, sementara sensor DS18B20 mendeteksi suhu udang. Arduino memproses data suhu dan mengatur kerja relay untuk menjaga suhu tetap stabil sesuai kebutuhan penyimpanan udang. Untuk skema rancangan sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



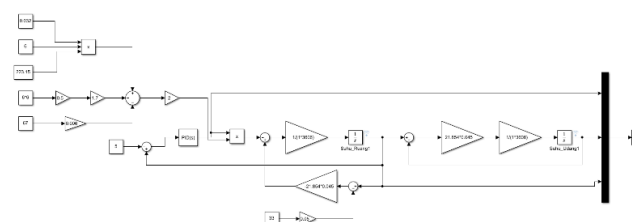
Gambar 3 Rancangan Sistem Keseluruhan

Model simulasi dikembangkan menggunakan MATLAB Simulink dengan tujuan utama untuk memverifikasi kinerja sistem pendingin secara dinamis dan realistis. Dalam simulasi ini, dua skenario pengendalian diterapkan, yaitu logika ON/OFF sederhana dan pengendalian berbasis Proportional-Integral-Derivative (PID) guna mengevaluasi kecepatan respon, kestabilan suhu, serta konsumsi energi masing-masing metode.

Permodelan blok diagram simulasi sistem pendingin dengan kontrol relay dan pengendalian control PID masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5 sebagai berikut.



Gambar 4 Model Blok Diagram Simulasi Sistem Pendingin dengan Kontrol Relay



Gambar 5 Model Blok Diagram Simulasi Sistem Pendingin dengan Kendali Kontrol PID

Model fisik ruang pendingin dimodelkan sebagai sistem termal berbasis *lumped thermal capacitance* yang mempertimbangkan faktor konduksi dan konveksi dari lingkungan. Simulasi memperhitungkan kapasitas panas jenis udang sebesar  $3606 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  dengan massa  $1 \text{ kg}$ , luas permukaan pendingin  $0,045 \text{ m}^2$ , serta selisih suhu  $\Delta T$  sebesar  $6^\circ\text{C}$  dalam interval waktu  $900\text{s}$ . Koefisien perpindahan panas diestimasi melalui pendekatan eksperimental dan digunakan dalam berbagai blok permodelan sistem termal. Sistem pendingin dimodelkan dengan beban panas akibat suhu luar, serta kapasitas pendinginan TEC-12706 sebagai aktuator utama yang dikendalikan oleh sinyal logika hasil pemrosesan algoritma kontrol. Selain itu, pengaruh keterlambatan sistem dan waktu kerja relay juga dimodelkan dalam blok logika kontrol. Simulasi bertujuan untuk memperoleh data penurunan suhu, osilasi suhu akibat ON/OFF *switching*, serta akurasi pencapaian suhu target oleh PID controller. Data ini digunakan untuk membandingkan efektivitas dan efisiensi energi antar skenario kendali dalam skala waktu operasional sistem sebenarnya.

Analisis perhitungan sistem untuk permodelan sistem pada simulasi terdiri dari beberapa perhitungan yaitu: konsumsi daya modul peltier sumber pendingin, panas jenis udang, dan koefisien perpindahan panas benda.

Hubungan antara konsumsi daya pada modul peltier dan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) yang dihasilkannya adalah nonlinier dan kompleks, karena melibatkan efek termoelektrik, konduksi panas, dan efisiensi pendinginan. Dapat menggunakan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut (Al Fikri, 2016).

$$Q_c = \alpha I T_c - \frac{1}{2} I^2 R - K \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$Q_c = (0,032 \cdot 6 \cdot 223,15) - \left(\frac{1}{2} 6^2 \cdot 1,98\right) - (0,006 \cdot 65)$$

$$Q_c = 60,124 - 35,64 - 0,39$$

$$Q_c = 24,0948 \text{ W}$$

$$P = I^2 R + \alpha I \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$P = 6^2 \cdot 1,7 + 0,032 \cdot 6 \cdot 67$$

$$P = 61,2 + 12,86$$

$$P = 74,064 \text{ W}$$

Dimana:

$Q_c$  = Panas yang diserap sisi dingin (Watt)

$P$  = Total daya Listrik (Watt)

$I$  = Arus Listrik modul (Ampere)

$R$  = Resistansi modul (Ohm)

$\alpha$  = Koefisien seebeck total (V/K)

$T_c$  = Suhu sisi dingin (K)

$\Delta T$  = Selisih suhu sisi panas dan dingin (K)

$K$  = Konduktansi termal antara kedua sisi (W/K)

Panas jenis untuk udang (sebagai bahan makanan atau biomas), maka dapat merujuk pada pendekatan empiris berdasarkan komposisi kimianya. Tabel komposisi pada udang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Komposisi Kimia Udang

| Zat kimia yang terkandung | Persentase (%) | Rata-rata (%) |
|---------------------------|----------------|---------------|
| Air                       | 71.5 – 79.6    | 75.55         |
| Protein                   | 18 – 22        | 20            |
| Lemak                     | 2.3            | 2.3           |
| Mineral                   | 0.7            | 0.7           |

Sumber:(Sumarsono, 2004)

Untuk menentukan perhitungan panas jenis udang dapat menggunakan persamaan (3) sebagai berikut.

$$C_p = X_n \cdot C_{p,n} \quad (3)$$

$$C_p = (0,755 \cdot 4,176) + (0,2 \cdot 2,008) + (0,023 \cdot 1,984) + (0,007 \cdot 1,092)$$

$$C_p = 3,152 + 0,4016 + 0,0456 + 0,00764$$

$$C_p = 3,606 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 3606 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

Dimana:

$C_p$  = Kapasitas panas jenis benda (kJ/kg.°C)

$X_n$  = Fraksi komponen

$C_{p,n}$  =Panas jenis masing-masing komponen k(J/kg. °C)

Menentukan koefisien perpindahan panas konveksi (h) dalam proses pendinginan udang, pendekatan yang umum digunakan adalah berdasarkan hukum pendinginan Newton dengan persamaan (4), (5) dan (6) sebagai berikut.

$$q = h \cdot A (T - T_\infty) \quad (4)$$

Persamaan lain:

$$q = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

$$q = 1 \cdot 3606 \cdot 0,006$$

$$q = 21,636 \text{ W}$$

Persamaan turunan:

$$h = \frac{q}{A \cdot (T - T_\infty)} \quad (6)$$

$$h = \frac{21,636}{0,045 \cdot (27-0)}$$

$$h = 18,807 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Dimana:

$q$  = Laju perpindahan panas (Watt)

$h$  = Koefisien perpindahan panas (W/m<sup>2</sup>. °C)

$A$  = Luas permukaan udang (m<sup>2</sup>)

$C_p$  = Kapasitas panas jenis benda (kJ/kg.°C)

$T$  = Suhu permukaan udang (°C)

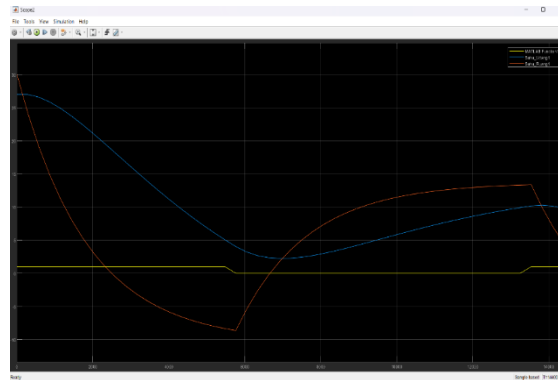
$T_\infty$  = Suhu medium pendingin (°C)

$\frac{dT}{dt}$  = Laju perubahan suhu terhadap waktu (°C/s)

Setelah dilakukan perhitungan analisis system dilakukan simulasi dengan menerapkan logika kontrol ON/OFF yang merepresentasikan kinerja relay digital pada sistem prototipe

pendingin udang. Dalam simulasi ini dilakukan percobaan dengan sistem 2 peliter yang memantau suhu ruang dan suhu udang. Jika suhu udang  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ , maka mikrokontroler (Arduino Uno) memicu relay untuk menghidupkan modul TEC-12706 sebagai sumber pendingin. Sebaliknya, jika suhu ruang turun hingga  $< 5^{\circ}\text{C}$ , maka relay memutuskan arus dan pendinginan berhenti. Hasil grafik sinyal output dari

masing-masing percobaan simulasi kontrol otomatis menggunakan kendali kontrol relay dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik Sinyal Output Kendali Relay

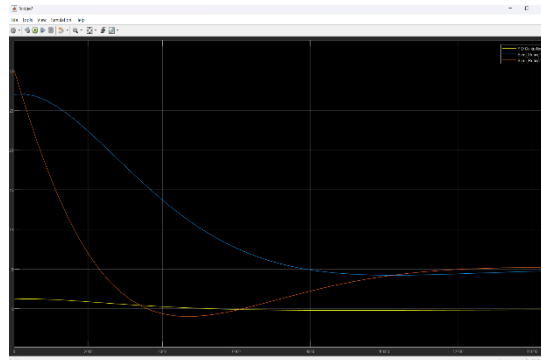
Hasil simulasi fluktuasi suhu yang terjadi pada grafik sinyal output dengan kendali relay dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Fluktuasi Suhu Simulasi Kendali Relay

| Menit ke- | Suhu Ruang ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Suhu Udang ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Status Relay |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0         | 30                                | 27                                | ON           |
| 91,17     | -8,5                              | 5,1                               | ON           |
| 96,22     | -8,6                              | 4                                 | OFF          |
| 220,22    | 13,2                              | 9,6                               | OFF          |
| 225,38    | 13,3                              | 10,1                              | ON           |

Simulasi berikutnya menggunakan kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) sebagai pendekatan kontrol otomatis untuk menggantikan kontrol relay digital. Pada model ini, error dihitung dari selisih antara suhu ruang (*output*) dan suhu target (*setpoint*), kemudian dikoreksi oleh algoritma PID untuk mengatur besarnya output daya TEC (atau tegangan/kontrol arus) secara halus dan kontinu. Hasil grafik sinyal output dari simulasi kontrol

otomatis menggunakan kendali kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.  
Gambar 7 Grafik Sinyal Output Kendali PID Controller



Hasil simulasi fluktuasi suhu yang terjadi pada grafik sinyal output dengan kendali PID controller dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Fluktuasi Suhu Simulasi Kendali PID Controller

| Menit ke- | Suhu Ruang (°C) | Suhu Udang (°C) | Keterangan                                         |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------|
| 0         | 30              | 27              | Suhu awal                                          |
| 81,5      | -0,9            | 10,5            | <i>Overshoot</i> pada Suhu Ruang                   |
| 172,53    | 4,3             | 4,2             | Titik persilangan antara Suhu Ruang dan Suhu Udang |
| 231,46    | 5,2             | 4,6             | Suhu mulai stabil                                  |

Pengujian lapangan dilakukan di lingkungan terbuka yang menyerupai kondisi aktual operasional nelayan pada saat pasca panen, yaitu antara pukul 05.00–09.00. Sistem ditempatkan di atas permukaan tanah yang terlindung dari paparan langsung sinar matahari namun tetap menerima suhu lingkungan alami. Sistem kinerja alat ditunjukkan dengan indikator LCD 16x2 dengan program monitoring sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu ruang dalam sterofoam dan sensor DS18B20 sebagai pendeteksi suhu pada objek uji udang dan juga menampilkan status kondisi alat pendingin. Pengujian prototipe pendingin dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.



## Gambar 8 Pengujian Prototipe Pendingin Udara

Data dikumpulkan secara kontinyu setiap kali terjadi *switching* pada relay ketika ON/OFF. Selain itu, konsumsi daya diukur menggunakan wattmeter digital yang dipasang pada jalur keluaran baterai ke sistem pendingin dalam menguji profil beban secara dinamis.

Untuk mengetahui hasil pengujian fluktuasi suhu yang terjadi bersamaan dengan control kendali otomatis relay dalam menjaga kestabilan suhu udara oleh prototipe disajikan Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Fluktuasi Suhu dan Status Relay

| Menit ke- | Kondisi         |                 |              |
|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
|           | Suhu Ruang (°C) | Suhu Udara (°C) | Status Relay |
| 0         | 33.0            | 30.0            | ON           |
| 18        | 24.5            | 26.8            | ON           |
| 39        | 17.2            | 21.9            | ON           |
| 57        | 12.0            | 17.6            | ON           |
| 76        | 7.5             | 13.3            | ON           |
| 91        | 4.9             | 9.8             | ON           |
| 107       | 3.5             | 4.9             | OFF          |
| 142       | 6.5             | 6.8             | OFF          |
| 168       | 9.3             | 9.9             | OFF          |
| 185       | 11.1            | 10.2            | ON           |
| 212       | 6.7             | 5.2             | OFF          |

Untuk mengetahui data pengukuran beban energi yang digunakan oleh sistem pendingin secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Pengukuran Beban Energi Keseluruhan

| Menit ke- | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Total |                       |
|-----------|--------------|----------|------------|-----------------------|
|           |              |          | Daya (W)   | Energi Kumulatif (Wh) |
| 0         | 0.00         | 0.00     | 0.00       | 0.00                  |
| 15        | 11.83        | 11.96    | 141.48     | 35.37                 |
| 30        | 11.93        | 10.48    | 125.02     | 66.62                 |
| 45        | 11.88        | 13.56    | 161.10     | 106.90                |
| 60        | 11.71        | 14.68    | 171.90     | 149.37                |
| 75        | 12.05        | 11.50    | 138.58     | 184.02                |
| 90        | 11.71        | 2.24     | 26.22      | 190.58                |
| 105       | 12.00        | 2.80     | 33.60      | 199.98                |
| 120       | 11.87        | 14.50    | 172.12     | 243.01                |
| 135       | 11.58        | 13.14    | 152.16     | 281.04                |
| 150       | 12.01        | 2.40     | 28.82      | 288.25                |
| 165       | 12.24        | 2.68     | 32.80      | 296.45                |
| 180       | 11.66        | 10.70    | 124.76     | 327.64                |
| 195       | 11.56        | 2.20     | 25.42      | 333.99                |

| Menit ke- | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Total |                       |
|-----------|--------------|----------|------------|-----------------------|
|           |              |          | Daya (W)   | Energi Kumulatif (Wh) |
| 210       | 12.47        | 2.82     | 35.16      | 342.78                |
| 225       | 12.03        | 10.58    | 127.28     | 374.60                |
| 240       | 12.03        | 2.26     | 27.18      | 381.39                |

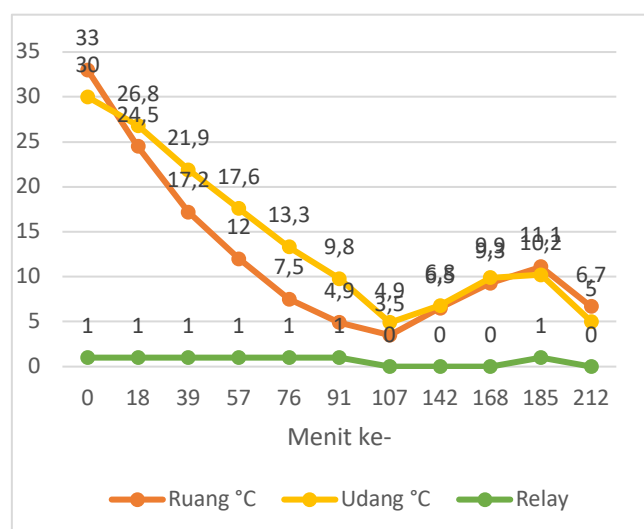
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pada simulasi menggunakan MATLAB Simulink yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa sistem kontrol ON/OFF relay mampu menurunkan suhu udang dari 27°C menjadi sekitar 5°C dalam kurun waktu kurang lebih 1,99 jam. Namun setelah suhu target tercapai, system mengalami fluktuasi suhu yang cukup signifikan karena sifat control yang bersifat diskrit dan tidak mempertimbangkan derajat suhu perubahan yang kontinu.

Sebaliknya pada skenario kontrol PID, meskipun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu target sedikit lebih lama sekitar kurang lebih 2,5 jam, kestabilan suhu setelah tercapai target jauh lebih baik. System ini mampu menjaga suhu penyimpanan dalam kisaran 5°C hingga 6°C secara stabil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PID lebih ideal untuk system yang memerlukan kestabilan suhu tinggi dengan efisiensi energi yang lebih baik.

Pada hasil uji lapangan prototipe pendingin udang yang ditunjukkan oleh Tabel 4 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan fluktuasi suhu antara suhu ruang dengan suhu udang di dalamnya. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor yang dapat memengaruhinya salah satunya adalah kapasitas panas jenis dari objek. Kapasitas panas jenis udang memiliki nilai sebesar 3606 J/kg. °C dengan komposisi penyusun dari udang itu sendiri meliputi air, protein, lemak, dan mineral. Nilai tersebut menunjukkan kapasitas panas udang dalam memengaruhi kebutuhan energi serta laju perubahan suhu selama proses pendinginan berlangsung.

Untuk mengetahui grafik fluktuasi suhu yang terjadi antara suhu ruang, suhu udang, dan status relay yang terjadi pada Tabel 4 disajikan Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9 Grafik Fluktuasi Suhu dan Status Relay

Dari hasil Gambar 9 dapat dilihat jika system pendingin udang mampu mendinginkan udang cukup cepat. Pada menit ke-91 sekitar 1,5 jam suhu ruang turun hingga 4,9°C dan suhu udang mencapai 9,8°C menunjukkan laju penurunan yang cukup tajam. Relay melakukan

switching pertama kali pada menit ke-107 saat suhu ruang mencapai  $3,5^{\circ}\text{C}$  dan suhu udang turun hingga  $4,9^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan batas logika hysteresis yang telah ditetapkan yaitu OFF ketika  $<5^{\circ}\text{C}$  dan ON ketika suhu melebihi  $10^{\circ}\text{C}$ . Pada menit ke-185 suhu ruang terdeteksi  $11,1^{\circ}\text{C}$  dan suhu udang  $10,2^{\circ}\text{C}$ , saat keadaan tersebut relay ON. kembali. Selanjutnya system Kembali mematikan relay pada menit ke-212 setelah suhu turun lagi ke batas bawah.

Standar penanganan penyimpanan udang pada SNI 01-2372.1-2006 adalah  $<5^{\circ}\text{C}$  (Utari et al., 2024). Dalam penyimpanan suhu rendah ( $5\text{--}15^{\circ}\text{C}$ ) masa simpan udang mampu mencapai  $<5$  hari dikarenakan mikroba belum mampu melakukan metabolisme secara maksimal (Pandit, 2022). Pola perubahan status relay ON-OFF yang konsisten dari prototipe pendingin udang menunjukkan bahwa system tidak hanya mampu mencapai suhu ideal penyimpanan udang yaitu  $<5^{\circ}\text{C}$  namun juga dapat mempertahankannya dalam batas kendali secara otomatis.

Kebutuhan baterai aki sebagai sumber Cadangan grid off panel surya memiliki spesifikasi yaitu 12V dan 33,3Ah dengan akumulasi energi total sebesar 399,6Wh. Lalu untuk spesifikasi panel surya yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 10 dan Tabel 6 sebagai berikut.

Gambar 10 Nameplate Panel Surya Monocrystalline



Tabel 6 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline

| Spesifikasi                               | Keterangan                                 |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Model Number                              | STP050S-12/Mb                              |
| Rated Maximum Power ( $P_{\max}$ )        | 50W                                        |
| Output Tolerance                          | $\pm 5\%$                                  |
| Current at Pmax ( $I_{\text{mp}}$ )       | 2.90A                                      |
| Voltage at Pmax ( $V_{\text{mp}}$ )       | 17.3V                                      |
| Short-Circuit Current ( $I_{\text{sc}}$ ) | 3.10A                                      |
| Open-Circuit Voltage ( $V_{\text{oc}}$ )  | 21.7V                                      |
| Nominal Operating Cell Temperature        | $45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ |
| Maximum System Voltage                    | 715V                                       |

---

|                   |        |            |
|-------------------|--------|------------|
| Maximum<br>Rating | Series | Fuse<br>5A |
|-------------------|--------|------------|

---

Dari hasil pengukuran beban energi keseluruhan system pada Tabel 5 didapatkan hasil total energi kumulatif sebesar 381,39Wh. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan kapasitas baterai aki dengan energi total sebesar 399,6Wh dapat mencukupi kebutuhan konsumsi energi prototipe pendingin udang dan masih tersisa Cadangan energi sebesar 18,21Wh.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian lapangan, sistem prototype pendingin udang berbasis Arduino Uno yang memanfaatkan panel surya monocrystalline sebagai sumber energi berhasil menunjukkan kinerja yang baik dalam menurunkan dan menjaga suhu penyimpanan. Sistem dengan dua unit TEC-12706 sebagai sumber pendingin mampu menurunkan suhu ruang dari 33°C hingga 4,9°C dan suhu udang dari 30°C hingga 9,8°C dalam waktu sekitar 1,5 jam. Dengan kontrol logika ON/OFF, suhu dapat dipertahankan secara otomatis di bawah 10°C menggunakan ambang batas relay ON saat suhu  $\geq 10^\circ\text{C}$  dan OFF saat suhu  $< 5^\circ\text{C}$ .

Hasil simulasi menggunakan MATLAB Simulink menunjukkan bahwa metode kontrol PID lebih stabil dalam menjaga suhu di kisaran target (5–6°C), meskipun memerlukan waktu lebih lama dibandingkan kontrol ON/OFF.

Selain itu, perhitungan energi sistem menunjukkan bahwa konsumsi energi harian sebesar 381,39 Wh dapat sepenuhnya dipenuhi oleh panel surya 50 Wp dan baterai 12V 33,3 Ah, dengan sisa cadangan energi sebesar 18,21 Wh. Dengan demikian, sistem ini dapat beroperasi secara mandiri di wilayah terpencil tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN, serta efektif dalam mendukung pengawetan udang pasca panen sesuai standar suhu penyimpanan ( $< 5^\circ\text{C}$ ).

## REFERENSI

- Al Fikri, H. A. (2016). *Efektifitas Modul Peltier Tec-12706 Sebagai Generator Dengan Memanfaatkan Energi Panas Dari Modul Peltier Tec-12706*. [https://eprints.ums.ac.id/46601/6/Hafidh TA.pdf](https://eprints.ums.ac.id/46601/6/Hafidh%20TA.pdf)
- Pandit, I. G. S. (2022). *Teknologi Tepat Guna Penanganan Udang Windu Segar Dengan Menggunakan Uuhu Rendah* (M. S. Dr. Muhamad Husein Maruapey, Drs. (ed.); 1st ed.). PENERBIT KBM INDONESIA. <https://repository.warmadewa.ac.id/id/eprint/1986/>
- Sumarsono, B. K. (2004). *Standar Proses Teknologi Pengolahan Udang Beku (Frozen) Siap Ekspor Di PT Windu Blambangan Sejati*. [https://repository.unair.ac.id/130399/1/4.060110303 T.pdf](https://repository.unair.ac.id/130399/1/4.060110303%20T.pdf)
- Utari, S. P. S. D., Samanta, P. N., Riviani, R., & Syafii, A. K. (2024). MUTU EKSPOR UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) BEKU BENTUK PND (Peeled Deveined). *Jurnal Perikanan Unram*, 13(2), 599–612. <https://doi.org/10.29303/jp.v13i2.549>
- Wardah, W., & Rahayu, R. (2021). Peningkatan Kemampuan Pembudidaya Ikan Melalui Pelatihan Kemampuan Berwirausaha Diversifikasi Pangan Olahan Asal Ikan. *ABDI MASSA: Jurnal Pengabdian Nasional (e-ISSN: 2797-0493)*, 1(03), 32–39. <https://aksiologi.org/index.php/abdimassa/article/view/158>