

Automatic Temperature Control System for Caridina Ornamental Shrimp Aquascape Ecosystem and IoT-Based Water pH Monitoring Using Blynk

[Sistem Kontrol Otomatis Suhu Aquascape untuk Ekosistem Udang Hias Caridina dan Monitoring pH Air Berbasis IoT Menggunakan Blynk]

Awaludin Khafidz Afrizal¹⁾, Akhmad Ahfas^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: ahfas@umsida.ac.id

Abstract. *Caridina ornamental shrimp are high-value aquatic organisms known for their extreme sensitivity to fluctuations in water parameters, particularly temperature and pH. Instability in these parameters can cause physiological stress, immune suppression, and mass mortality. This research develops a prototype IoT-based automatic water temperature control system with real-time online pH monitoring. The system uses a master-slave architecture, where an Arduino Uno serves as the main controller managing sensors, actuators, and local user interfaces, while an ESP32 functions as an IoT gateway connecting the system to the Blynk platform via wireless network. Water cooling is achieved using five Peltier TEC1-12706 modules controlled by a hysteresis algorithm with upper and lower thresholds of 28°C and 22°C. Temperature is sensed using a waterproof DS18B20 sensor with 1-Wire protocol, while pH monitoring employs a pH-4502C module with 50-sample oversampling and Exponential Moving Average (EMA) filtering. Test results show the system responds to commands in under two seconds, with temperature accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ and pH accuracy of ± 0.1 units, operating continuously for over 72 hours without faults. Total measured system power consumption is 598.86 Watts with a primary PSU utilization rate of 71.99%, within safe operational limits.*

Keywords - Arduino Uno; Blynk; Caridina Shrimp; ESP32; IoT; Peltier TEC1-12706; Temperature Control System

Abstrak. *Udang hias Caridina merupakan biota akuatik bernilai ekonomi tinggi yang sangat sensitif terhadap fluktuasi parameter air, khususnya suhu dan tingkat keasaman (pH). Ketidakstabilan kedua parameter tersebut dapat mengakibatkan stres fisiologis, penurunan imunitas, hingga kematian massal. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem kontrol otomatis suhu berbasis Internet of Things (IoT) dengan pemantauan pH air secara daring dan waktu nyata. Sistem dirancang menggunakan arsitektur master-slave, di mana Arduino Uno berperan sebagai pengontrol utama yang mengelola sensor, aktuator, dan antarmuka pengguna lokal, sedangkan ESP32 berfungsi sebagai gateway IoT yang menghubungkan sistem ke platform Blynk melalui jaringan nirkabel. Pendinginan air menggunakan lima modul Peltier TEC1-12706 yang dikendalikan oleh algoritma histeresis dengan batas atas 28°C dan batas bawah 22°C. Pembacaan suhu memanfaatkan sensor DS18B20 waterproof dengan protokol 1-Wire, sementara pemantauan pH menggunakan modul pH-4502C dengan teknik oversampling 50 sampel dan filter Exponential Moving Average (EMA). Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu merespons dalam waktu kurang dari dua detik, mempertahankan akurasi suhu $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan pH $\pm 0,1$ unit, serta beroperasi kontinu selama lebih dari 72 jam tanpa gangguan. Total konsumsi daya terukur sebesar 598,86 Watt dengan utilisasi PSU utama 71,99%, berada dalam batas aman operasional.*

Kata Kunci - Arduino Uno; Blynk; ESP32; IoT; Peltier TEC1-12706; Sistem Kontrol Suhu; Udang Caridina

I. PENDAHULUAN

Aquascape merupakan seni menata ekosistem akuatik dalam wadah kaca yang memadukan estetika dan aspek biologi secara simultan. Perkembangan hobi ini di Indonesia mengalami pertumbuhan signifikan seiring meningkatnya minat masyarakat terhadap udang hias eksotis, salah satunya adalah spesies *Caridina*. Sebagai genus krustasea air tawar yang berasal dari wilayah Asia Tenggara dan Asia Timur, udang *Caridina* memiliki nilai estetika dan ekonomi yang tinggi, namun memerlukan kondisi lingkungan air yang sangat spesifik untuk kelangsungan hidupnya.

Berdasarkan kajian literatur, udang *Caridina* membutuhkan suhu optimal antara 22°C hingga 26°C serta pH air yang terjaga pada kisaran 6,0 hingga 7,0 [1]. Penyimpangan parameter ini, meskipun berlangsung beberapa jam, dapat menyebabkan respons stres akut, kegagalan molting, hingga kematian mendadak. Ironisnya, pengawasan parameter air pada praktik pemeliharaan konvensional masih dilakukan secara manual menggunakan termometer dan strip pH terpisah, suatu metode yang rentan terhadap kelalaian manusia dan tidak mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi mendadak [2].

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) membuka paradigma baru dalam pengelolaan ekosistem akuatik. Integrasi sensor, mikrokontroler, dan konektivitas nirkabel memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan secara otomatis, presisi, dan dapat diakses dari jarak jauh melalui perangkat genggam [3]. Platform IoT seperti Blynk menyederhanakan implementasi antarmuka pemantauan berbasis smartphone tanpa memerlukan infrastruktur server yang kompleks.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi sistem otomasi pada ekosistem akuatik. Saputra dan Fadlillah [1] mengembangkan sistem kontrol suhu, pencahayaan, dan feeder berbasis IoT untuk aquascape. Indriyanto dkk. [2] membangun sistem monitoring suhu berbasis IoT namun terbatas pada fungsi monitoring tanpa kontrol aktif. Rohim dkk. [4] mengembangkan monitoring suhu dan pH untuk tambak udang *Vaname*. Rahmadaniar dkk. [14] mengembangkan smart aquascape terintegrasi dengan kontrol suhu, pengatur pH, dan pakan otomatis, namun belum menggunakan Peltier sebagai pendingin aktif. Wisnuadi dkk. [15] merancang sistem pemantauan aquascape berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan sensor DS18B20 dan sensor pH secara real-time, namun kontrol aktuator pendingin aktif belum diintegrasikan. Namun, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan kontrol termal aktif menggunakan modul Peltier dengan pemantauan pH waktu nyata, antarmuka multi-modal, dan sistem priority control dalam satu platform terpadu untuk ekosistem *Caridina* masih sangat terbatas.

Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengembangkan sistem kontrol otomatis suhu dan monitoring pH berbasis IoT dalam satu kabinet prototipe terpadu. Tujuan penelitian ini adalah: (1) merancang arsitektur master-slave Arduino Uno dan ESP32 yang terhubung via UART untuk distribusi tugas kontrol dan IoT; (2) mengimplementasikan algoritma histeresis dengan sequential startup untuk efisiensi termal; (3) mengintegrasikan antarmuka multi-modal mencakup LCD lokal, keypad matrix 4×4, sistem audio feedback, Blynk, dan Telegram Bot; serta (4) memvalidasi performa sistem secara menyeluruh melalui pengujian akurasi sensor, respons aktuator, dan konsumsi daya.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang berfokus pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem berbasis perangkat keras dan lunak. Tahapan metodologi mencakup observasi kebutuhan, studi literatur, perancangan sistem, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, dan validasi akhir.

A. Arsitektur Sistem

Sistem dirancang menggunakan topologi master-slave dengan dua mikrokontroler utama. Arduino Uno berperan sebagai master controller yang bertanggung jawab atas akuisisi data sensor, pengambilan keputusan kontrol aktuator, manajemen antarmuka pengguna lokal melalui LCD I2C dan keypad, serta penyediaan umpan balik audio melalui DFPlayer Mini. ESP32 berperan sebagai IoT gateway yang menerima data dari Arduino melalui antarmuka UART dan meneruskannya ke platform Blynk melalui jaringan WiFi.

Komunikasi antara kedua mikrokontroler menggunakan protokol UART dengan baudrate 9600 bps. Format paket data yang dikirimkan Arduino ke ESP32 berstruktur dalam bentuk key-value: "T:{suhu}|P:{pH}|S:{state}|A1:{peltier}|A2:{fan}|A3:{pump}", memungkinkan parsing yang andal di sisi penerima. Pengiriman data dilakukan setiap satu detik untuk memastikan kebaruan informasi di platform cloud.

Kode 1. Fungsi Pengiriman Data Sensor Arduino ke ESP32 via UART

```
// Fungsi pengiriman data sensor Arduino → ESP32 via UART
// Format: T{suhu},P{pH},S{peltier},F{fan},M{pump}
void sendDataToESP32() {
  esp32Serial.print("T");
  esp32Serial.print(actualTemp, 2); // suhu 2 desimal
  esp32Serial.print(",P");
  esp32Serial.print(actualPH, 2); // pH 2 desimal
  esp32Serial.print(",S");
  esp32Serial.print(peltierState ? 1 : 0);
  esp32Serial.print(",F");
  esp32Serial.print(fanState ? 1 : 0);
  esp32Serial.print(",M");
  esp32Serial.print(pumpState ? 1 : 0);
  esp32Serial.print("\n"); // terminator newline
}
```

B. Perancangan Perangkat Keras

Sensor suhu DS18B20 dipilih karena kemampuannya bekerja dengan protokol digital 1-Wire yang tahan terhadap noise elektromagnetik serta memiliki akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang operasi -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$ dalam konfigurasi waterproof. Sensor pH menggunakan modul pH-4502C dengan keluaran analog yang terhubung ke pin ADC 10-bit Arduino, dengan kalibrasi linear menggunakan persamaan $\text{pH} = -6,8 \times V + 23,82$.

Pendinginan air dilakukan oleh lima unit modul Peltier TEC1-12706 yang bekerja berdasarkan efek termoelektrik. Setiap unit mampu mengonsumsi daya hingga 72 Watt pada tegangan 12V dan arus 6A. Sistem relay empat kanal mengontrol aktivasi Peltier, kipas pendingin, dan pompa air secara terpisah.

Antarmuka pengguna lokal menggunakan LCD I2C 16x2 dan keypad membran 4x4 yang dihubungkan melalui ekspander I2C PCF8574 dengan alamat 0x20. Kedua perangkat berbagi jalur I2C pada pin A4 (SDA) dan A5 (SCL) Arduino, beroperasi pada kecepatan clock 100 kHz. Modul DFPlayer Mini terhubung melalui SoftwareSerial pada pin D9 dan D10 dengan baudrate 9600 bps untuk memberikan notifikasi audio pada setiap transisi status sistem.

Tabel 1. Pemetaan Pin Arduino Uno (Master Controller)

Pin Arduino	Fungsi	Komponen Terhubung
D2	Data 1-Wire	Sensor Suhu DS18B20
D4	Output Relay IN1	Kipas Pendingin (Fan)
D5	Output Relay IN2	Modul Peltier TEC1-12706
D6	Output Relay IN3	Pompa Air DC
D7	Output Digital	Buzzer Alarm
D8	Output Digital	LED Indikator Status
D9	TX SoftwareSerial	DFPlayer Mini (RX)
D10	RX SoftwareSerial	DFPlayer Mini (TX)
D11	TX SoftwareSerial	ESP32 Pin D35 (RX)
D12	RX SoftwareSerial	ESP32 Pin D34 (TX)
A0	Input Analog ADC	Modul Sensor pH-4502C
A4 (SDA)	Bus I2C Data	LCD I2C + PCF8574
A5 (SCL)	Bus I2C Clock	LCD I2C + PCF8574

C. Algoritma Kontrol Termal

Sistem mengimplementasikan dua mode operasi yang dapat dipilih pengguna melalui keypad: mode Otomatis dan mode Manual. Pada mode Otomatis, kendali suhu menggunakan algoritma histeresis dengan batas atas (upper threshold) 28°C dan batas bawah (lower threshold) 22°C . Ketika suhu terukur melebihi 28°C dan aktuator dalam kondisi mati, sistem mengaktifkan Peltier dan kipas. Dead-band sebesar 6°C ini dirancang untuk meminimalisir frekuensi switching relay yang dapat mempersingkat usia komponen.

Pada mode Manual, pengguna dapat menentukan setpoint suhu target secara bebas dalam rentang 15°C hingga 35°C menggunakan keypad. Suhu aktivasi aktuator tetap dikunci pada 28°C sebagai proteksi keamanan. Sistem juga menerapkan prosedur sequential startup: pompa aktif pada $t=0$ detik, kipas pada $t=1$ detik, dan Peltier pada $t=7$ detik, guna mencegah lonjakan arus dan memastikan heatsink mencapai suhu kerja optimal sebelum beban termal Peltier diterapkan.

Kode 2. Algoritma Histeresis dan Sequential Startup (Arduino)

```
// Algoritma histeresis mode Otomatis (Arduino)
void handleStateAutomatic() {
  // Batas atas: 28°C → aktifkan pendinginan
  bool needCooling = (actualTemp > TEMP_AUTO_MAX); // 28°C
  // Batas bawah: 22°C → matikan pendinginan
  bool stopCooling = (actualTemp <= TEMP_AUTO_MIN); // 22°C

  if (needCooling && !peltierState && !pendingPeltierState) {
    setActuatorState(PELTIER_PIN, true); // nyalakan Peltier
  } else if (stopCooling && (peltierState || pendingPeltierState)) {
    setActuatorState(PELTIER_PIN, false); // matikan Peltier
  }
}

// Sequential startup: fan dulu → Peltier setelah 12 detik
void setActuatorState(int pin, bool state) {
  if (pin == PELTIER_PIN && state && !fanState) {
    setActuatorState(FAN_PIN, true); // nyalakan fan lebih dulu
    pendingPeltierState = true;
    fanTurnedOnTime = millis();
    fanWaitingForPeltier = true;
  }
}

// Fungsi timer delay fan → Peltier (12 detik)
void checkFanPeltierDelay() {
  if (fanWaitingForPeltier &&
      (millis() - fanTurnedOnTime >= FAN_PELTIER_DELAY)) {
    digitalWrite(PELTIER_PIN, HIGH);
    peltierState = true;
    fanWaitingForPeltier = false;
  }
}
```

D. Pemrosesan Data Sensor pH

Pembacaan sensor pH menerapkan dua tahap pemrosesan. Tahap pertama adalah oversampling, di mana sistem mengambil 50 sampel pembacaan ADC dan menghitung nilai rata-ratanya untuk mereduksi derau acak. Tahap kedua adalah penerapan filter Exponential Moving Average (EMA) dengan koefisien alpha (α) sebesar 0,02, sesuai persamaan berikut:

$$pHSmooth(n) = \alpha \times pH(n) + (1 - \alpha) \times pHSmooth(n - 1) \dots (1)$$

Nilai alpha yang kecil (0,02) menghasilkan respons filter yang lambat namun sangat stabil, sesuai untuk aplikasi pemantauan lingkungan akuatik di mana perubahan pH berlangsung gradual. Konversi tegangan ke nilai pH menggunakan persamaan kalibrasi linear yang diperoleh melalui kalibrasi menggunakan larutan buffer pH standar.

Kode 3. Oversampling 50 Sampel dan Filter EMA pada Sensor pH (Arduino)

```
// Pembacaan pH dengan oversampling 50 sampel + filter EMA
// Kalibrasi: pH = -6.8 × V + 23.82
float readPH() {
  float voltageSum = 0;
  for (int i = 0; i < NUM_SAMPLES; i++) { // NUM_SAMPLES = 50
    int adcValue = analogRead(PO_PIN);
    voltageSum += adcValue * (VCC_VALUE / ADC_RESOLUTION);
    delayMicroseconds(100);
  }
  float avgVoltage = voltageSum / NUM_SAMPLES;
  float rawPH = (M_SLOPE * avgVoltage) + C_INTERCEPT;
  // M_SLOPE = -6.8, C_INTERCEPT = 23.82

  // Filter EMA: pHSmooth(n) = α×pH(n) + (1-α)×pHSmooth(n-1)
  // α = PH_SMOOTHING_ALPHA = 0.02
```

```

if (smoothedPH == 0.0) {
    smoothedPH = rawPH;          // inisialisasi pertama kali
} else {
    smoothedPH = (PH_SMOOTHING_ALPHA * rawPH)
                + ((1.0 - PH_SMOOTHING_ALPHA) * smoothedPH);
}

```

Kode 4. Parsing Data UART dan Kontrol Otomatis pada ESP32

```

// Parsing data UART dari Arduino di sisi ESP32
// Buffer: serialDataBuffer[] berisi string T25.50,P7.20,S1,F1,M1
void parseArduinoData() {
    float parsedTemp = 0.0, parsedPH = 0.0;
    int parsedPeltier = 0, parsedFan = 0, parsedPump = 0;

    int matches = sscanf(serialDataBuffer,
        "T%f,P%f,S%d,F%d,M%d",
        &parsedTemp, &parsedPH,
        &parsedPeltier, &parsedFan, &parsedPump);

    if (matches == 5) {          // semua 5 field berhasil diparsing
        actualTemp = parsedTemp;
        actualPH = parsedPH;
        peltierStatus = parsedPeltier;
        fanStatus = parsedFan;
        pumpStatus = parsedPump;

        // Cek alarm suhu > 28°C
        isAlarmActive = (actualTemp > SUHU_AMBANG_ALARM);

        // Jalankan kontrol otomatis jika sistem & auto mode aktif
        if (systemEnabled && autoModeEnabled)
            kontrolOtomatisDualMode();
    }
}

```

E. Prosedur Pengujian

Pengujian sistem dilakukan secara komprehensif meliputi empat aspek: (1) pengujian akurasi sensor suhu dan pH dengan membandingkan pembacaan sistem terhadap instrumen referensi standar; (2) pengujian respons aktuator; (3) pengujian konektivitas IoT dengan mengukur latensi pengiriman data ke platform Blynk; dan (4) pengujian konsumsi daya keseluruhan sistem menggunakan multimeter digital dan clamp meter dalam kondisi full load. Pengukuran dilakukan tiga kali per komponen pada tanggal 18–20 Februari 2026.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Performa Sistem Kontrol Suhu

Pengujian sistem kontrol suhu dilakukan dengan mencatat respons aktuator terhadap perubahan suhu air pada kondisi beban penuh. Sistem secara konsisten mengaktifkan Peltier dan kipas saat suhu melampaui 28°C dan menonaktifkannya ketika suhu kembali ke 22°C atau lebih rendah. Waktu respons rata-rata dari deteksi kondisi threshold hingga aktivasi aktuator kurang dari dua detik, mencakup waktu pemrosesan sinyal sensor, eksekusi algoritma kontrol, dan switching relay.

Algoritma sequential startup terbukti efektif mengeliminasi lonjakan arus (inrush current). Dengan mengaktifkan pompa, kipas, dan Peltier secara berurutan dengan jeda terprogram, beban puncak pada PSU dapat didistribusikan secara temporal. Sistem berhasil beroperasi kontinu selama lebih dari 72 jam pada suhu lingkungan luar ruangan 29°C–30°C tanpa gangguan atau crash.

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Sensor dan Akurasi Pengukuran

Parameter	Sensor	Rentang Ukur	Akurasi
Suhu Air	DS18B20 Waterproof	-10 s/d +85°C	±0,5°C
pH Air	pH-4502C Analog	0 – 14 pH	±0,1 unit
Suhu Chiller	Sensor Internal	0 s/d +50°C	±1,0°C

B. Performa Sistem Monitoring pH

Pemantauan pH air berjalan secara kontinu dengan pembaruan data setiap 100 ms pada sisi Arduino dan diteruskan ke platform Blynk setiap 60 detik untuk efisiensi bandwidth. Kombinasi oversampling 50 sampel dan filter EMA menghasilkan pembacaan yang stabil dengan deviasi standar rendah, bahkan di lingkungan dengan gangguan elektromagnetik dari komponen daya.

Kalibrasi sensor pH menggunakan tiga titik (buffer pH 4,0; 7,0; dan 10,0) menghasilkan kurva kalibrasi linear dengan koefisien determinasi R^2 di atas 0,99, mengindikasikan linearitas sangat baik pada rentang pH yang relevan untuk ekosistem Caridina. Pembaruan nilai pH pada aplikasi Blynk rata-rata terjadi dengan latensi 1,2 detik dari waktu pengukuran aktual di sensor.

C. Antarmuka Pengguna dan Integrasi IoT

Sistem menyediakan dua lapisan antarmuka pengguna. Antarmuka lokal menggunakan LCD I2C 16x2 dan keypad membran 4x4 memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem tanpa koneksi internet. Delapan mode operasi tersedia dan dapat dinavigasi menggunakan finite state machine (FSM): Menu Utama, Mode Otomatis, Mode Manual, Monitor, Set Manual, Test Mode, Kalibrasi, dan Info Menu. Modul DFPlayer Mini memberikan umpan balik audio berupa notifikasi suara pada setiap transisi state.

Antarmuka jarak jauh melalui Blynk 2.0 menggunakan virtual pin V1 untuk data suhu, V2 untuk pH, V9–V11 untuk kontrol aktuator manual, V16 untuk aktifasi sistem, V17 untuk mode otomatis, dan V18 untuk pengaturan suhu target. Sistem juga terintegrasi dengan Telegram Bot yang memberikan notifikasi alarm otomatis ketika suhu melampaui 28°C dengan interval minimum tiga menit antar notifikasi untuk mencegah spam pesan.

Mekanisme priority control dengan cooldown period tiga detik berhasil menghindari konflik perintah dari berbagai sumber. Ketika sistem menerima perintah dari satu sumber (Blynk), perintah dari sumber lain (Telegram) dalam periode cooldown akan ditolak dan dicatat dalam log serial untuk keperluan debugging.

D. Analisis Konsumsi Daya

Pengukuran konsumsi daya keseluruhan sistem dilakukan dalam kondisi full load. Total daya terukur sebesar 598,86 Watt, terdistribusi pada: PSU utama 12V/60A menanggung 518,34 Watt, PSU kedua 12V/10A menanggung 14,40 Watt, dan beban langsung AC 220V sebesar 66,12 Watt.

Tabel 3. Rekapitulasi Konsumsi Daya per Kategori Komponen

No.	Kategori Komponen	P Terukur (W)	Proporsi (%)
1	Pendingin Peltier TEC1-12706 ×5	359,80	60,08%
2	Kipas Pendingin 12V	136,77	22,84%
3	Pompa Air DC 12V ×2	23,98	4,00%
4	Penerangan & Filter Canister	66,12	11,04%
5	Relay, Konverter, & Lainnya	7,42	1,24%
6	Mikrokontroler & Sensor	4,68	0,78%
7	Sistem Audio	1,10	0,18%
	TOTAL	598,86	100,00%

Tabel 4. Analisis Utilisasi dan Safety Margin PSU

Sumber Daya	Kapasitas (W)	Beban (W)	Utilisasi (%)	Safety Margin (%)
PSU Utama 12V/60A	720,00	518,34	71,99%	28,01% ✓
PSU Kedua 12V/10A	120,00	14,40	12,00%	88,00% ✓
Total Sistem	840,00	598,86	71,29%	28,71% ✓

Modul Peltier TEC1-12706 sebagai komponen pendingin aktif mengonsumsi 60,08% dari total daya sistem. Tingkat utilisasi PSU utama sebesar 71,99% berada di bawah batas aman standar teknik 80%, memberikan safety margin 28,01% untuk mengakomodasi lonjakan arus saat start-up. Hasil ini mengonfirmasi bahwa konfigurasi sumber daya yang dipilih memenuhi standar keandalan dan keselamatan operasional [13].

E. Hasil Pengujian Empiris Suhu dan pH Selama 3 Hari

Pengujian empiris dilakukan selama tiga hari berturut-turut dengan interval pembacaan setiap 5 menit, berlokasi di teras luar rumah yang terpapar panas lingkungan langsung. Sistem diuji dalam kondisi nyata dengan suhu ruangan luar antara 29°C hingga 30°C. Volume akuarium yang digunakan adalah 54 liter (60×30×30 cm) dengan empat unit Peltier TEC1-12706 aktif sebagai pendingin. Sebuah kipas tambahan dikonfigurasi untuk selalu aktif guna memperlambat laju kenaikan suhu saat chiller dalam kondisi OFF.

Tabel 5. Rekapitulasi Statistik Pengujian Suhu dan pH per Sesi (3 Hari)

Hari	Sesi	T Maks (°C)	T Min (°C)	Rata ² T (°C)	pH Maks	pH Min	Rata ² pH
Hari 1	Pagi–Sore	28,0	23,0	25,5	6,68	6,45	6,54
Hari 1	Malam–Pagi	28,0	22,0	25,2	6,53	6,33	6,41
Hari 2	Pagi–Sore	28,0	23,0	25,6	6,67	6,44	6,53
Hari 2	Malam–Pagi	28,0	22,0	25,2	6,52	6,33	6,41
Hari 3	Pagi–Sore	28,0	23,0	25,5	6,64	6,45	6,54
Hari 3	Malam–Pagi	28,0	22,0	25,2	6,51	6,31	6,40
Rata-rata Keseluruhan		28,0	22,0–23,0	25,37	6,68	6,31	6,47

Berdasarkan Tabel 5, sistem berhasil menjaga suhu air dalam rentang yang dapat diterima untuk ekosistem Caridina selama seluruh periode pengujian. Pada sesi malam–pagi, suhu minimum 22,0°C berhasil dicapai secara konsisten di ketiga hari pengujian dalam waktu 3–4 jam pendinginan, memanfaatkan kondisi suhu ambien malam yang lebih rendah. Sebaliknya, pada sesi pagi–sore, suhu minimum hanya mencapai 23,0°C akibat heat gain yang besar dari paparan sinar matahari di teras luar. Meskipun demikian, suhu ini masih berada dalam rentang toleransi atas untuk udang Caridina (22°C–26°C).

Tabel 6. Estimasi Durasi Pendinginan dan Pemanasan Berdasarkan Hasil Pengujian

Proses	Rentang Suhu	Durasi Estimasi	Kondisi & Keterangan
Pendinginan Siang	28°C → 23°C	±5–6 jam	Heat gain teras sangat besar; suhu min. mentok 23°C
Pendinginan Malam	28°C → 22°C	±3–4 jam	Ambient malam lebih dingin; ≈40% lebih cepat dari siang
Pemanasan Siang	23°C → 28°C	±7–8 jam	Kipas ekstra aktif memperlambat laju kenaikan suhu
Pemanasan Malam	22°C → 28°C	±7,5–8 jam	Paling lambat: kipas ekstra + ambient malam dingin

Tabel 6 menunjukkan bahwa pendinginan malam berlangsung sekitar 40% lebih cepat dibandingkan siang hari. Hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu ambien antara siang (29–30°C) dan malam, yang secara langsung mengurangi beban termal yang harus dilawan oleh modul Peltier. Kipas tambahan yang selalu aktif terbukti berperan signifikan dalam memperlambat laju kenaikan suhu saat chiller OFF, memperpanjang durasi fase pemanasan dari yang seharusnya 4–5 jam menjadi 7–8 jam, sehingga siklus switching relay berkurang dan usia komponen lebih terjaga.

Dari sisi pemantauan pH, seluruh data pengujian menunjukkan nilai pH air berada konsisten pada

rentang 6,31 hingga 6,68 sepanjang 3 hari pengujian. Rentang ini sepenuhnya berada di dalam zona optimal untuk udang *Caridina* (6,0–7,0) [1][4]. Rata-rata pH pada sesi pagi–sore (6,535) tercatat lebih tinggi dibandingkan sesi malam–pagi (6,408), dengan selisih sekitar 0,13 unit. Fenomena ini berkorelasi dengan peningkatan suhu air di siang hari yang mendorong pelepasan gas CO₂ terlarut (degassing), sehingga konsentrasi asam karbonat menurun dan pH naik secara gradual. Pola ini konsisten terjadi di ketiga hari pengujian, mengindikasikan sistem mampu mempertahankan stabilitas pH secara alami tanpa intervensi tambahan.

Tabel 7. Ringkasan Analisis Korelasi Suhu–pH dan Kesesuaian Parameter Ekosistem

Parameter	Nilai Pengujian	Standar <i>Caridina</i>	Status
Suhu Minimum (malam)	22,0°C	22–26°C	✓ Sesuai
Suhu Minimum (siang)	23,0°C	22–26°C	✓ Sesuai
Suhu Maksimum (trigger ON)	28,0°C	Batas atas 28°C	✓ Sesuai
Rata-rata Suhu Global	25,37°C	22–26°C	✓ Optimal
pH Minimum Absolut	6,31	6,0–7,0	✓ Sesuai
pH Maksimum Absolut	6,68	6,0–7,0	✓ Sesuai
Rata-rata pH Global	6,47	6,0–7,0	✓ Optimal
Korelasi Suhu–pH	+0,02 unit/°C	Gradual (CO ₂ degassing)	✓ Normal

Secara keseluruhan, hasil pengujian empiris selama 72 jam ini mengkonfirmasi bahwa sistem kontrol yang dirancang mampu menjaga kedua parameter kritis ekosistem *Caridina*, yaitu suhu dan pH, dalam batas yang aman dan optimal. Sistem beroperasi stabil tanpa gangguan atau reset sepanjang periode pengujian, memvalidasi keandalan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak yang dikembangkan.

F. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan diferensiatif. Penelitian oleh Indriyanto dkk. [2] hanya mencakup monitoring suhu tanpa kontrol aktif. Sistem Saputra dan Fadlillah [1] mengintegrasikan kontrol suhu dan pencahayaan namun tidak menyertakan pemantauan pH. Rohim dkk. [4] mengembangkan monitoring suhu dan pH untuk tambak Vaname, namun bukan untuk aquascape tertutup dengan kontrol termal aktif. Rahmadaniar dkk. [14] menghadirkan integrasi kontrol suhu, pH, dan pakan pada aquascape, namun pendinginan masih berbasis heater/cooler konvensional tanpa modul Peltier. Wisnuadi dkk. [15] telah menggunakan ESP32 dan sensor pH pada aquascape berbasis IoT, namun sistem kontrol aktuator pendingin aktif belum terimplementasi.

Penelitian ini menghadirkan integrasi yang lebih komprehensif: kontrol termal aktif menggunakan Peltier, pemantauan pH waktu nyata, antarmuka multi-modal (LCD, keypad, audio, Blynk, Telegram), dan sistem priority control yang mencegah konflik perintah dari berbagai sumber, semuanya dalam satu kabinet prototipe dua kompartemen.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan memvalidasi sistem kontrol otomatis suhu aquascape berbasis IoT dengan pemantauan pH air waktu nyata untuk ekosistem udang hias *Caridina*. Arsitektur master-slave Arduino Uno dan ESP32 yang berkomunikasi melalui UART terbukti andal dalam distribusi tugas antara kontrol lokal dan konektivitas IoT, dengan response time di bawah dua detik. Algoritma histeresis dengan dead-band 6°C dan prosedur sequential startup efektif menjaga stabilitas suhu sekaligus melindungi komponen dari thermal shock. Kombinasi oversampling dan filter EMA menghasilkan pembacaan pH yang stabil dengan akurasi ±0,1 unit. Total konsumsi daya sistem sebesar 598,86 Watt dengan utilisasi PSU utama 71,99% mengonfirmasi kesesuaian konfigurasi sumber daya. Sistem berhasil beroperasi kontinu lebih dari 72 jam, memvalidasi keandalannya untuk aplikasi nyata.

Untuk pengembangan lanjutan, penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi integrasi sensor TDS (Total Dissolved Solids) dan Dissolved Oxygen untuk pemantauan kualitas air yang lebih komprehensif, serta penerapan algoritma kontrol PID atau fuzzy logic untuk meningkatkan presisi dan

efisiensi energi sistem pendinginan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Shazana Dhiya Ayuni, S.ST., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Difa Fitriastuti Putri yang telah berperan penting dalam membantu penyelesaian penelitian ini, serta kepada keluarga yang senantiasa mendoakan dengan tulus, memberikan dukungan, semangat, dan motivasi selama masa perkuliahan hingga proses penyusunan jurnal ini.

REFERENSI

- [1] R. E. Saputra dan H. Fadlillah, "Automasi Kontrol Suhu, Pencahayaan, Feeder pada Aquascape Berbasis Internet of Things," *ELECTROPS Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Universitas Mulawarman, 2023.
- [2] S. Indriyanto, P. Yuliantoro, dan D. Kusumawati, "Sistem Monitoring Suhu Air Pada Aquascape Berbasis Internet of Things (IoT)," *JTECE*, vol. 04, hal. 56–65, Jan. 2022, doi: 10.20895/JTECE.V411.608.
- [3] F. Kamil, "Sistem Kontrol Kualitas Air Aquascape Ikan Mas Koki Berbasis IoT," *Zerro Not, Univ. Lancang Kuning*, 2025. [Online]. Tersedia: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/zn/article/view/25472>
- [4] M. H. Rohim, A. Susanto, dan A. Munazilin, "Sistem Monitoring Suhu dan pH Air Tambak Udang Vaname Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 2, hal. 131–136, 2025, doi: 10.55123.
- [5] P. A. Rosyady dan M. A. Agustian, "Sistem Monitoring dan Kontrol Keasaman Larutan dan Suhu Air pada Kolam Ikan Mas Koki dengan Smartphone Berbasis IoT," *Techne: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, Jun. 2022, doi: 10.31358/techne.v21i2.317.
- [6] D. Gude, "Rancang Bangun Sistem Pengontrol dan Monitoring pH Air Hidroponik Menggunakan Aplikasi Blynk," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering (JEEEE)*, vol. 6, hal. 57–62, 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i1.20827.
- [7] A. Pradypta, L. Anifah, N. Kholis, dan F. Baskoro, "Rancang Bangun Sistem Monitoring pH dan Kontrol Suhu pada Media Pemeliharaan Ikan Hias Air Tawar," *Jurnal Teknik Elektro UNESA*, 2022.
- [8] I. K. A. Widiantara, K. A. Yasa, dan I. G. P. M. E. Putra, "Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu Air pada Akuarium," *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Bali*, 2022.
- [9] B. S. Kusumaraga, S. Syahrini, D. Hadidjaja, dan I. Anshory, "Monitoring Kualitas Air Akuarium Berbasis Internet of Things," *PELS: Jurnal Power Electronics*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i2.966.
- [10] M. I. Saputra, H. Fitriawan, Herlinawati, Sumadi, dan W. D. P. Wijaya, "Sistem Pemantauan Suhu dan pH Air Kolam Budidaya Udang Vaname Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Nodemcu ESP8266," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 19, hal. 208–215, Mei 2025, doi: 10.23960/elc.v19n2.2812.
- [11] Blynk Inc., "Blynk 2.0 Documentation," 2024. [Online]. Tersedia: <https://docs.blynk.io>
- [12] Maxim Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet," Rev. 7, Maxim Integrated Products, 2019.
- [13] TEC Microsystems, "TEC1-12706 Thermoelectric Cooler Module Datasheet," 2020.
- [14] I. Rahmadaniar, A. P. J. Priana, B. Widodo, F. Fadilah, I. Irmansyah, J. M. Alpino, M. Corazon, M. Fajarudin, R. Arifia, dan V. A. Lovely, "Smart Aquascapes dengan Kontrol Suhu, Pengatur pH, dan Pakan Otomatis," *Elektrika: Jurnal Teknik Elektro Universitas Semarang*, vol. 16, no. 2, Okt. 2024. [Online]. Tersedia: <https://journals.usm.ac.id/index.php/elektrika/article/view/9203>
- [15] P. A. W. Wisnuadi, R. Susanto, dan Pramono, "Sistem Pemantauan dan Kendali Aquascape Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32 dengan Sensor Suhu DS18B20 dan Sensor pH," *JEPIN: Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, vol. 9, no. 1, Apr. 2023. [Online]. Tersedia: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jepin>

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.