

Sistem Pembiakan Ulat Hongkong Otomatis Berbasis Markov Decision Process dengan Komunikasi Wireless Internet of Things

Aad Hariyadi¹, Hudiono Hudiono², Amalia Eka Rakhmania³, Farida Arini⁴

^{1,3}Program Studi Teknik Telekomunikasi,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang, Malang

¹aad.hariyadi@polinema.ac.id, ³amaliaeka.rakhmania@polinema.ac.id,

^{2,4}Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang, Malang

¹hudiono@polinema.ac.id, ²farida.arini@polinema.ac.id,

Abstrak

Dalam artikel ini, dikaji sistem pembiakan ulat hongkong otomatis yang berbasis Markov Decision Process (MDP) dengan komunikasi wireless internet of things (IoT), di mana sebuah program cerdas berbasis MDP telah ditanamkan pada mikrokontroler yang memungkinkan pengaturan suhu dan kelembaban optimal berdasarkan input dari sensor. Sistem ini dikembangkan dengan mempertimbangkan proses pembiakan ulat hongkong yang tidak optimal karena kelembaban dan suhu ruangan yang berubah secara dinamis. Untuk menyelesaikan masalah ini secara efisien, algoritma MDP telah ditanamkan pada mikrokontroler, di mana parameter masukan dari sensor DHT22 diperoleh oleh mikrokontroler sehingga suhu dan kelembaban optimal dapat ditentukan dengan mengontrol sinar UV, kipas, dan pompa air. Selain itu, dengan penggunaan komunikasi wireless IoT, sistem pembiakan ulat hongkong ini dapat dipantau dari jarak jauh oleh pengguna. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat menurunkan rata-rata kematian ulat hongkong sebesar 54%.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), Markov Decision Process, Mikrokontroler, Wireless, Ulat hongkong.

Abstract

In this article, we study the automatic mealworm breeding system based on the Markov Decision Process (MDP) with wireless Internet of Things (IoT) communication, where the MDP-based intelligent program is embedded in a microcontroller so that it can regulate the optimal temperature and humidity based on input from the sensor. This system was developed by considering the mealworm breeding process, which is not optimal due to dynamically changing humidity and room temperature. To solve this problem efficiently, we developed the MDP algorithm in the microcontroller, where the microcontroller achieves input parameters from the DHT22 sensor so that it can determine the optimal temperature and humidity by controlling UV light, fans, and water pumps. In addition, by using wireless IoT communication, this mealworm breeding system can be monitored by users remotely. The experimental results show that the proposed system can reduce mealworm deaths by 54%.

Keywords: Internet of Things (IoT), Markov Decision Process, Microcontrollers, Wireless, Hong Kong caterpillar.

1. Pendahuluan

Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor* L) dikenal juga mealworm atau yellow mealworm merupakan serangga yang dapat dikembangkan agar mendapat hasil yang bermutu dan dapat digunakan sebagai pakan burung, ikan, reptil, pangan, dan sebagai bahan baku kosmetik [1][2]. Ulat Hongkong termasuk jenis serangga yang sengaja dipelihara dan dikembangkan sebagai mata pencaharian utama maupun sampingan. Dalam siklus hidupnya, serangga tersebut sama seperti jenis ulat lainnya yang melewati beberapa siklus yaitu: telur, larva, kepompong (pupa), dan kepik (serangga). Pada proses kawin ulat Hongkong, biasanya kumbang betina dan jantan diletakkan di atas kapas pada wadah atau nampan khusus. Di Indonesia, budidaya ulat Hongkong cukup menjamur. Budidaya ulat Hongkong berkembang karena permintaan pasar yang luas dan prospek ekonomi yang menjanjikan [3].

Pembudidayaan ulat Hongkong memerlukan kesabaran dan ketekunan, mengingat siklus hidupnya dari telur hingga kepik memakan waktu sekitar 3-6 bulan. Awalnya, ulat Hongkong dibudidayakan sebagai pakan ternak, tetapi dengan meningkatnya permintaan, populasi mereka pun berkembang. Budidaya ulat Hongkong ini terbukti mudah diadaptasi oleh berbagai kalangan, termasuk ibu rumah tangga, karena dapat dikembangkan bahkan di lahan yang sempit. Namun, para peternak konvensional seringkali mengabaikan aspek penting seperti suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara dalam media pemeliharaan. Ulat Hongkong umumnya diberi pakan fermentasi sayuran dan buah-buahan serta konsentrat, yang merupakan sumber pakan yang baik [4].

Menurut Husaeni dan Nandika, aktivitas serangga ulat Hongkong dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban media pemeliharaan. Serangga-serangga daerah tropika pada umumnya tidak tahan terhadap suhu rendah [5]. Hari Wibowo, peternak ulat Hongkong di Wajak, Jawa Timur mengatakan, ulat Hongkong berkembang dengan maksimal jika ditanamkan pada media pemeliharaannya dengan suhu 28°C hingga 30°C dan kelembaban sekitar 75,5% [6]. Menurut Sitompul, serangga sangat sensitif terhadap suhu tinggi dan menghindari tempat yang berudara panas dan bersuhu tinggi. Pada ulat dewasa menjadi kepik merupakan sasaran masalah yang harus dicari solusinya yaitu dengan memodifikasi media pemeliharaan yang akan menjaga suhu tetap dalam suhu maksimal 30°C yaitu suhu ideal bagi proses reproduksi kepik [7].

Media pemeliharaan dari bahan baku triplek dipilih karena triplek tidak mudah berubah bentuk, retak atau dimakan usia. Media pemeliharaan berbentuk kotak untuk memudahkan peternak menata tempat pemeliharaannya dan adanya kawat di bagian samping media pemeliharaan sebagai ventilasi. Ventilasi berfungsi sebagai penghilang panas, kelembaban yang berlebihan [8]. kotak media pemeliharaan berukuran 60 cm x 40 cm x 10 cm maksimal isi ulat 2 kg agar ulat di dalam media pemeliharaan tidak berdesakan dan menyebabkan mati [9]. Maka dari itu, ulat Hongkong memerlukan wadah yang bisa diatur suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara [10]. Perawatan ulat Hongkong membutuhkan suhu yang sensitif dan ketepatan suhu ini akan menghasilkan produksi ulat Hongkong yang berkualitas tinggi.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah berkembang pesat dan banyak diadopsi dalam berbagai sektor, termasuk dalam bidang pertanian dan peternakan [11]. Salah satu aplikasi penting dari IoT adalah pada pembiakan ulat hongkong (*Tenebrio molitor*), di mana kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban memainkan peran penting dalam siklus hidup dan produktivitas ulat tersebut. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari lingkungan pembiakan

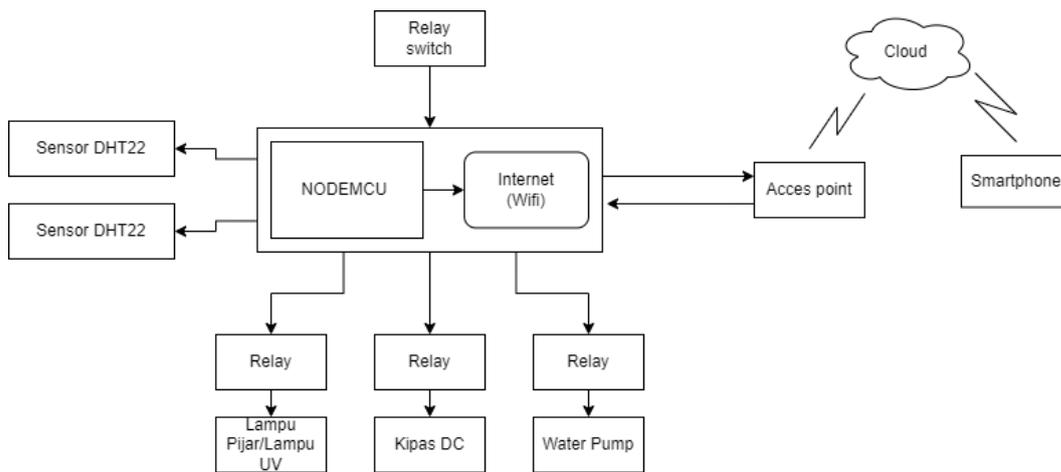
menggunakan berbagai sensor seperti sensor suhu dan kelembaban, yang kemudian diolah untuk menghasilkan keputusan otomatis dalam menjaga kondisi optimal media pembiakan. Sistem berbasis IoT ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lingkungan pembiakan secara jarak jauh melalui perangkat pintar seperti smartphone, yang memberi fleksibilitas tinggi dalam manajemen pembiakan.

Teknologi *Markov Decision Process* (MDP) merupakan salah satu inovasi yang digunakan dalam pengambilan keputusan berbasis data sensor yang dikumpulkan melalui sistem IoT [12]. MDP memungkinkan optimasi dalam mengontrol suhu dan kelembaban dalam media pembiakan ulat hongkong dengan mempertimbangkan berbagai skenario lingkungan yang mungkin terjadi. Dengan bantuan MDP, sistem dapat secara otomatis menentukan kapan kipas DC perlu dinyalakan untuk mendinginkan suhu atau kapan lampu UV perlu diaktifkan untuk menaikkan suhu, berdasarkan data sensor real-time [13][14]. MDP memberikan sistem kemampuan untuk secara dinamis beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga meningkatkan stabilitas pembiakan tanpa memerlukan intervensi manual yang konstan. Dengan penerapan ini, sistem dapat berfungsi lebih efisien, menjaga kondisi lingkungan tetap optimal, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas ulat hongkong.

Dengan menggabungkan teknologi IoT untuk pengumpulan data real-time dan MDP untuk pengambilan keputusan yang adaptif, sistem ini dapat mengurangi beban pemantauan manual dan memastikan kondisi lingkungan yang optimal secara terus-menerus. Selain itu, integrasi komunikasi nirkabel melalui protokol MQTT memungkinkan data lingkungan dikirim secara real-time ke aplikasi smartphone, di mana pengguna dapat memantau serta mengontrol sistem dari jarak jauh [15,16,17]. Penggunaan perangkat keras seperti *NodeMCU ESP8266* yang terhubung dengan sensor DHT22, kipas DC, lampu UV, dan pompa air menciptakan sistem yang dapat mengatur kondisi lingkungan pembiakan dengan presisi tinggi. Dengan mempertimbangkan tantangan-tantangan yang ada, kami mengusulkan sistem pembiakan ulat hongkong otomatis berbasis *Markov Decision Process* dengan komunikasi *wireless Internet of Things* sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam proses pembiakan ulat Hongkong. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan pengaturan suhu dan kelembaban secara otomatis, memberikan fleksibilitas pemantauan jarak jauh, serta meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pembiakan ulat hongkong dengan lebih efisien dan efektif.

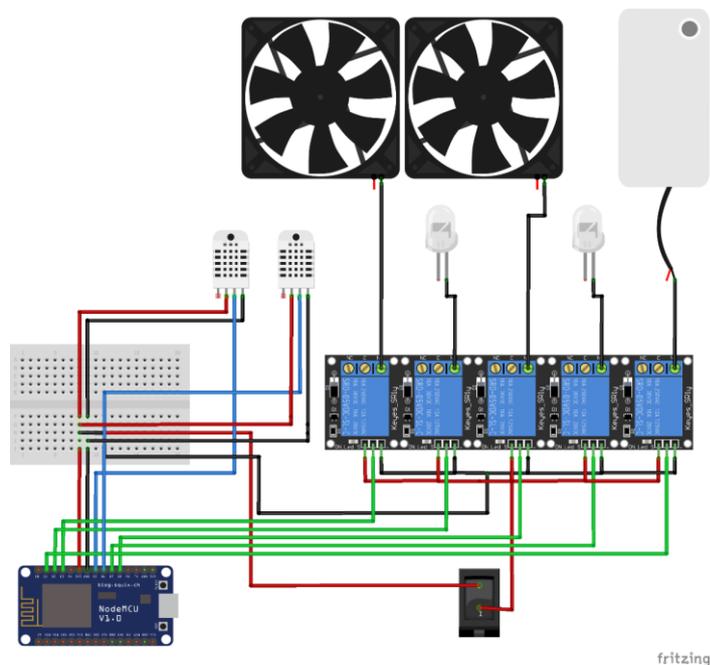
2. System Model

Kami mengusulkan sebuah sistem pembiakan ulat Hongkong otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan algoritma Markov Decision Process (MDP), di mana setiap perangkat akan dipasang dalam media pembiakan dan terhubung ke server melalui jaringan internet, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem.

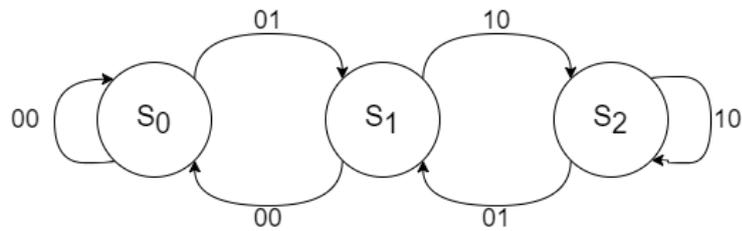
Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa terdapat dua blok utama dalam model sistem yang diusulkan. Blok pertama berada pada sisi media pembiakan, termasuk sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, kipas DC yang berfungsi sebagai alat pendingin, lampu UV yang digunakan untuk meningkatkan suhu, dan pompa air DC yang berfungsi untuk menyemprotkan air ke media pembiakan ulat hongkong. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai pusat pengendalian, yang mengumpulkan data dari sensor dan mengendalikan perangkat output. Mikrokontroler ini juga dapat berkomunikasi dengan server menggunakan modul transceiver yang terhubung ke internet. Di sisi server, terdapat fitur autentikasi dan basis data yang digunakan untuk menyimpan informasi dari sensor dan memproses kontrol perangkat, serta tampilan web yang memungkinkan pengguna memonitor kondisi sistem secara real-time. Selain itu, kami juga mempertimbangkan koneksi jaringan internet dengan memanfaatkan jaringan seluler agar sistem ini dapat diakses dari mana saja.



Gambar 2. Diagram skematik untuk pembiakan ulat hongkong.

Diagram skematik dari sistem ini yang sistem pembiakan ulat hongkong diperlihatkan pada Gambar 2. Desain perangkat keras bertujuan utama untuk mengirimkan pembacaan data dari sensor suhu dan kelembaban serta mengontrol perangkat yang terhubung, seperti kipas, lampu UV, dan pompa air. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, perangkat pertama yang terhubung ke NodeMCU ESP8266 adalah sensor DHT22, yang menggunakan jalur digital untuk mengirimkan data suhu dan kelembaban. Pin data dari sensor DHT22 terhubung ke pin GPIO pada NodeMCU, yang bertugas untuk membaca nilai-nilai tersebut secara terus-menerus. NodeMCU kemudian akan memproses data tersebut menggunakan algoritma MDP dan menentukan apakah perlu mengaktifkan kipas DC atau lampu UV untuk menjaga suhu dalam kisaran optimal 28°C hingga 30°C. Selain itu, pompa air akan aktif saat kelembaban berada di bawah nilai yang telah ditentukan, menjaga keseimbangan lingkungan dalam media pembiakan. Komponen berikutnya adalah modul transceiver ESP8266 yang berfungsi untuk komunikasi data dengan server. Komunikasi dilakukan melalui protokol MQTT, di mana data dari sensor akan dikirimkan secara real-time ke server. Server akan menyimpan data tersebut dan menampilkannya dalam antarmuka web yang bisa diakses melalui aplikasi pada smartphone. Dalam sistem ini, server juga berfungsi sebagai pusat kontrol yang dapat mengirim perintah kembali ke NodeMCU untuk menyalakan atau mematikan perangkat, seperti kipas dan lampu UV, jika diperlukan. Semua perangkat yang terpasang pada media pembiakan membutuhkan pasokan daya, sehingga sistem ini terhubung ke sumber daya eksternal melalui adaptor yang mengonversi tegangan AC menjadi DC 5V yang dibutuhkan oleh perangkat. Dengan rancangan sistem ini, kami dapat memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan media pembiakan ulat hongkong secara otomatis dan real-time. Penggunaan teknologi IoT dan algoritma Markov Decision Process memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang tepat berdasarkan data sensor, sehingga menjaga suhu dan kelembaban tetap dalam batas optimal, yang akan meningkatkan kualitas dan produktivitas ulat hongkong.

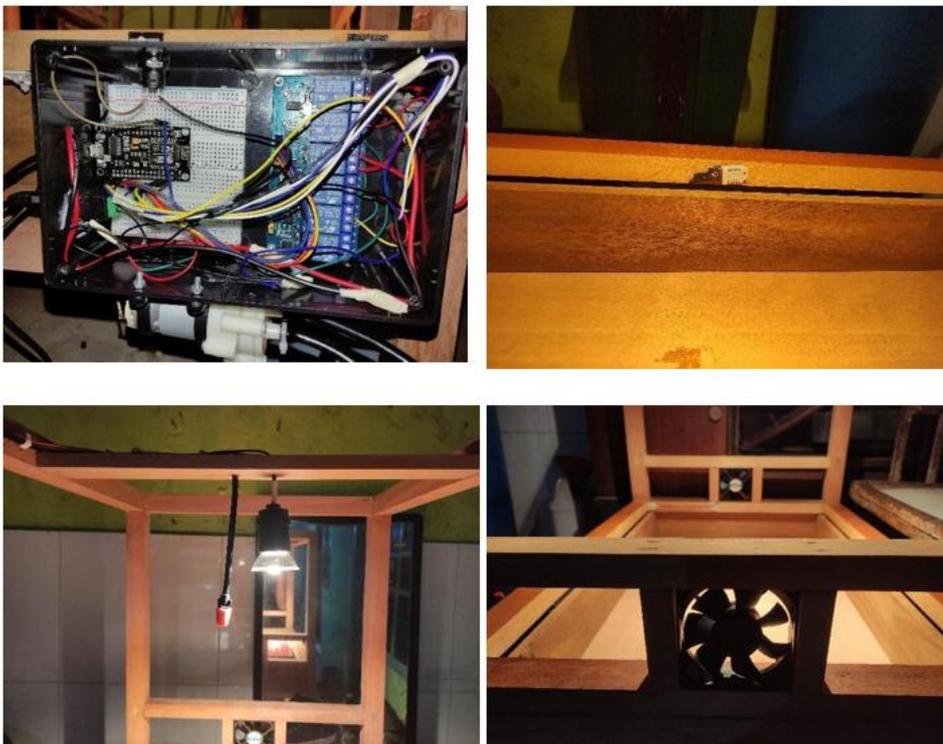
Kami juga mengusulkan algoritma berbasis Markov Decision Process (MDP) untuk menentukan langkah-langkah yang diperlukan dalam menjaga suhu dan kelembaban media pembiakan tetap optimal yang diperlihatkan pada Gambar 3, dengan S_0 : lampu UV ON dan kipas OFF, S_1 : lampu UV OFF dan kipas OFF, S_2 : lampu UV OFF dan kipas ON. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, terdapat tiga state yang ditandai sebagai S_0 , S_1 , dan S_2 dalam *state diagram*. Diagram tersebut menggambarkan hubungan antara state dan transisi yang dipicu oleh input tertentu. Transisi antara state ditentukan oleh input yang muncul pada setiap titik, dengan dua pilihan input yang memungkinkan untuk masing-masing state. Mengingat asumsi bahwa setiap input mempunyai peluang yang sama untuk terjadi, maka setiap transisi dari satu state ke state berikutnya atau kembali ke state asal memiliki peluang sebesar 50%. Penentuan ini berdasarkan kesetaraan peluang munculnya masing-masing input yang memungkinkan di setiap state. Implikasi dari distribusi peluang yang merata ini penting untuk dipertimbangkan dalam pengembangan dan analisis model berbasis state seperti ini, terutama dalam konteks simulasi dan sistem pengambilan keputusan yang menggunakan logika serupa. Analisis ini membantu dalam memahami dinamika sistem berbasis mesin state dalam konteks yang lebih luas, seperti dalam studi tentang sistem kontrol otomatis atau model pemrosesan informasi.



Gambar 3. State berbasis MDP yang diusulkan.

3. Hasil Eksperimen

Pada bagian ini, kami mendemonstrasikan performa dari sistem yang diusulkan. Hasil implementasi sistem keseluruhan yang diusulkan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Implementasi sistem secara keseluruhan.

Selanjutnya, tampilan menu software aplikasi sistem kontrol suhu pada media pemeliharaan ulat Hongkong diperlihatkan pada Gambar 5. Tampilan menu sistem kontrol suhu pada media pemeliharaan ulat Hongkong ini menunjukkan kondisi suhu pada media pemeliharaan ulat tersebut. Jika kondisi suhu tidak sesuai kita bisa mengatasinya dengan cara klik menyalakan kipas atau mematikannya. Menu akan menampilkan nilai variabel (suhu dan kelembaban) yang berfungsi untuk memonitoring suhu dan kelembaban pada media pemeliharaan ulat Hongkong. Tombol menu “Menyalakan” pada DHT1 dan DHT2 berfungsi untuk menyalakan kipas DC dan lampu uv sedangkan di atas tombol tersebut terdapat variabel nilai suhu, kelembaban, dan indikator menyala atau mati pada lampu/kipas DC. Sedangkan tombol “Menyalakan” pada menu pompa berfungsi sebagai tombol untuk menyalakan pompa air minum ulat Hongkong. Diatasnya terdapat indikator dari pompa tersebut menyala atau mati. Fitur push notification uga diberikan pada aplikasi ini jika aplikasi sudah terhubung pada

database, NodeMCU dan notifikasi saat menerima data pada sensor, popup keterangan relay juga diberikan Ketika kita menyalakan relay satu sampai relay lima.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sensor suhu dibandingkan dengan termometer digital. Berdasarkan Tabel 4.2 yang menunjukkan hasil pengujian sensor suhu, dapat dilihat bahwa pengukuran suhu menggunakan sensor DHT22 dibandingkan dengan termometer digital memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Hasil pengukuran dari empat pengujian menunjukkan bahwa kesalahan (error) yang terjadi sangat kecil, dengan nilai error tertinggi sebesar 1,16% pada pengukuran pertama (26,39°C dibandingkan dengan 26,7°C pada termometer digital). Sementara itu, pada pengukuran kedua, sensor DHT22 menghasilkan nilai yang sama dengan termometer digital, yaitu 24,6°C, sehingga tidak terdapat error sama sekali. Pengujian ketiga dan keempat menunjukkan nilai error yang sangat rendah, masing-masing sebesar 0,036% dan 0,35%. Dari hasil pengujian ini, rata-rata error keseluruhan adalah 0,38%, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara pengukuran sensor DHT22 dan termometer digital sangat kecil. Hal ini memperlihatkan bahwa sensor DHT22 mampu memberikan pengukuran yang cukup akurat. Dengan persentase ketelitian sebesar 99,62%, dapat disimpulkan bahwa sensor DHT22 merupakan alat yang sangat andal dalam mengukur suhu pada sistem monitoring pembiakan ulat hongkong, sehingga sistem dapat memanfaatkan data suhu dengan tingkat akurasi yang tinggi untuk mengontrol lingkungan media pembiakan secara optimal.



Gambar 5. Tampilan menu aplikasi software.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor suhu.

No.	Termometer Digital	Sensor DHT22	Error
1	26,7°C	26,39°C	1,16%
2	24,6°C	24,6°C	0%
3	27,9°C	27,89°C	0,036%
4	28,3°C	28,2°C	0,35 %
Rata-Rata Error			0,38%
Persentase Ketelitian			99,62%

Untuk pengujian kelembaban, kami menggunakan thermometer digital yang terdapat fitur untuk mengukur kelembaban. Nilai error digunakan untuk manandakan nilai akurasi yang didapatkan pada saat pengujian, nilai error tersebut dapat diekspresikan sebagai

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Nilai ukur rujukan} - \text{nilai ukur sensor}}{\text{nilai ukur rujukan}} \right| 100\%. \quad (1)$$

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor kelembaban dibandingkan dengan thermometer digital. Dapat diobservasi pada Tabel 2 yang menampilkan hasil pengujian sensor kelembaban, terlihat bahwa sensor DHT22 memiliki perbedaan cukup signifikan dibandingkan dengan termometer digital, terutama pada beberapa pengukuran. Hasil pengukuran kelembaban menunjukkan bahwa tingkat error tertinggi terjadi pada pengukuran keempat, di mana kelembaban yang terukur dengan sensor DHT22 adalah 59,9%, sedangkan termometer digital menunjukkan 75%, menghasilkan error sebesar 20,13%. Pengukuran lainnya juga menunjukkan tingkat error yang relatif tinggi, yaitu 18,11% pada pengukuran pertama dan 11,06% pada pengukuran kedua. Pengukuran ketiga menunjukkan error yang lebih rendah, yaitu 9,89%, tetapi tetap lebih tinggi dibandingkan pengukuran sensor suhu. Rata-rata error keseluruhan dari pengujian kelembaban ini mencapai 14,79%, yang lebih besar dibandingkan dengan pengujian suhu. Persentase ketelitian sensor DHT22 dalam pengukuran kelembaban berada pada angka 85,21%, menunjukkan bahwa meskipun sensor ini memberikan pengukuran yang cukup mendekati, ada perbedaan yang cukup besar dibandingkan dengan pengukuran kelembaban yang dilakukan oleh termometer digital. Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa sensor DHT22 kurang akurat dalam pengukuran kelembaban jika dibandingkan dengan termometer digital, dengan tingkat error yang cukup signifikan. Oleh karena itu, pada aplikasi yang membutuhkan pengukuran kelembaban yang sangat presisi, mungkin diperlukan kalibrasi lebih lanjut atau penggunaan sensor kelembaban yang lebih akurat untuk memastikan kondisi optimal dalam sistem pembiakan ulat Hongkong.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor kelembaban.

No.	Termometer Digital	Sensor DHT22	Error
1	79%	64,69%	18,11%
2	85%	75,6%	11,06%
3	84%	75,69%	9,89%
4	75%	59,9%	20,13%
Rata-Rata Error			14,79%
Persentase Ketelitian			85,21%

Tabel 3 menunjukkan pengujian sistem secara keseluruhan. Dapat diamati pada Tabel 3 yang menampilkan data pengujian keseluruhan sistem kontrol suhu dan kelembaban pada media pemeliharaan ulat hongkong, terdapat analisis menyeluruh terhadap dua media pembiakan (Media Pemeliharaan 1 dan Media Pemeliharaan 2) selama 15 hari. Setiap hari, suhu dan kelembaban di kedua media dipantau menggunakan sensor DHT22, dan pompa air dinyalakan untuk menjaga kelembaban sesuai kebutuhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kelembaban rata-rata pada Media Pemeliharaan 1 adalah 73%, sementara Media Pemeliharaan 2 memiliki kelembaban rata-rata sedikit lebih rendah, yaitu 71%. Suhu rata-rata pada Media Pemeliharaan 1 tercatat sebesar 29,42°C, sementara pada Media Pemeliharaan 2 suhu rata-rata sedikit lebih rendah, yaitu 28,96°C. Data ini menunjukkan bahwa sistem berhasil menjaga kelembaban dan suhu

dalam kisaran optimal untuk pembiakan ulat hongkong, dengan variasi yang kecil antara kedua media. Pada hari-hari tertentu, seperti 07-06-2022 hingga 09-06-2022, suhu meningkat hingga di atas 31°C, yang kemungkinan disebabkan oleh kondisi lingkungan eksternal. Namun, secara keseluruhan, sistem kontrol berhasil menjaga suhu di kisaran yang tepat, antara 26°C hingga 31°C. Kelembaban bervariasi antara 62% hingga 86%, dengan sebagian besar hari menunjukkan kelembaban berada di kisaran optimal, yaitu 70%-80%. Pompa air dinyalakan secara otomatis setiap hari untuk memastikan kelembaban media tetap stabil, yang ditunjukkan dengan kolom pompa air bernilai "1" setiap hari. Ini menunjukkan bahwa sistem kontrol kelembaban bekerja dengan baik, memastikan ulat hongkong mendapatkan hidrasi yang cukup tanpa intervensi manual. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem kontrol suhu dan kelembaban yang diusulkan bekerja secara efektif dalam menjaga lingkungan media pembiakan ulat hongkong dalam kondisi optimal, membantu memaksimalkan pertumbuhan ulat dengan tingkat pengendalian yang baik terhadap suhu dan kelembaban.

Tabel 3. Tabel data pengujian keseluruhan sistem kontrol suhu dan kelembaban pada media pemeliharaan ulat Hongkong.

No.	Hari/ Tanggal	Media Pemeliharaan 1		Media Pemeliharaan 2		Pompa Air
		DHT22 Kelembaban	DHT22 Suhu °C	DHT22 Kelembaban	DHT22 Suhu °C	
1.	01-06-2022	70%	28,63	72%	27,83	1
2.	02-06-2022	76%	29,72	70%	28,93	1
3.	03-06-2022	71%	26,01	69%	26,39	1
4.	04-06-2022	68%	30,26	65%	29,63	1
5.	05-06-2022	70%	29,82	67%	28,94	1
6.	06-06-2022	72%	29,83	71%	28,94	1
7.	07-06-2022	76%	31,31	79%	31,29	1
8.	08-06-2022	86%	31,47	82%	31,09	1
9.	09-06-2022	81%	31,71	79%	30,84	1
10.	10-06-2022	62%	29,81	68%	29,03	1
11.	11-06-2022	69%	26,56	65%	26,18	1
12.	12-06-2022	71%	28,19	66%	27,91	1
13.	13-06-2022	72%	28,62	68%	28,39	1
14.	14-06-2022	75%	29,38	70%	28,92	1
15.	15-06-2022	73%	30,10	75%	30,18	1
Rata-Rata		73%	29,42	71%	28,96	1

Tabel 4 memperlihatkan pemantauan terhadap ulat hongkong pada media pemeliharaan selama 2 pekan. Dapat diamati bahwa terdapat perbedaan signifikan antara media yang menggunakan alat kontrol otomatis dan media tanpa alat kontrol. Secara spesifik, penggunaan alat kontrol otomatis, yang mengatur suhu dan kelembaban, terbukti efektif dalam mengurangi mortalitas ulat Hongkong. Di media yang dilengkapi dengan alat kontrol otomatis, total berat dari ulat yang mati mencapai 87 gram, yang terdiri dari 45 gram (65 ulat) pada minggu pertama dan 42 gram (59 ulat) pada minggu kedua. Hal ini menunjukkan penurunan kematian yang konsisten dari minggu pertama ke minggu kedua, dengan rata-rata penurunan sebesar 8,7%. Hasil ini menegaskan bahwa sistem kontrol otomatis sukses dalam menjaga kondisi lingkungan agar tetap optimal, yang pada gilirannya secara signifikan mengurangi mortalitas ulat. Sebaliknya, di media pemeliharaan yang tidak menggunakan alat kontrol, tingkat kematian ulat lebih tinggi. Data menunjukkan bahwa total berat ulat yang mati adalah 134 gram, dengan 72

gram (106 ulat) pada minggu pertama dan 62 gram (91 ulat) pada minggu kedua. Terdapat penurunan jumlah kematian dari minggu pertama ke kedua; namun, tingkat mortalitas keseluruhan tetap lebih tinggi dibandingkan media dengan kontrol. Persentase rata-rata penurunan kematian mencapai 13,4%, yang mengindikasikan bahwa tanpa kontrol lingkungan yang stabil, tingkat kematian ulat cenderung meningkat. Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis ini adalah bahwa implementasi sistem kontrol otomatis dalam pembiakan ulat Hongkong sangat berpengaruh dalam mengurangi mortalitas. Hal ini tidak hanya menunjukkan pentingnya pengaturan kondisi lingkungan yang stabil tetapi juga menyoroti keefektifan alat kontrol dalam mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup ulat Hongkong secara optimal. Dengan demikian, pemanfaatan teknologi dalam pemeliharaan ulat Hongkong menjadi faktor kunci yang mendukung keberhasilan budidaya.

Tabel 4. Pemantauan Terhadap Ulat Hongkong Pada Media Pemeliharaan.

No.	Media Pemeliharaan	Berat/Jumlah ulat yang Mati		Jumlah dalam 2 Minggu	Presentase Rata-Rata Angka Penurunan
		Minggu Pertama	Minggu Kedua		
1	Dengan alat Kontrol	45 gram (65 ulat)	42 gram (59 ulat)	87 gram (124 ulat)	8,7%
2	Tanpa alat Kontrol	72 gram (106 ulat)	62 gram (91 ulat)	134 gram (197 ulat)	13,4%

4. Kesimpulan

Dalam artikel ini, sistem pembiakan ulat hongkong otomatis berbasis MDP dengan komunikasi wireless IoT telah dipelajari. Sebuah program cerdas berbasis MDP telah ditanamkan pada mikrokontroler untuk mengatur suhu dan kelembaban secara optimal berdasarkan masukan dari sensor. Sistem ini dikembangkan dengan mempertimbangkan kondisi pembiakan ulat Hongkong yang sering tidak optimal akibat perubahan dinamis pada kelembaban dan suhu ruangan. Untuk menyelesaikan masalah ini secara efisien, algoritma MDP telah ditanamkan pada mikrokontroler, yang menerima input dari sensor DHT22, sehingga suhu dan kelembaban optimal dapat ditentukan dengan mengontrol lampu UV, kipas, dan pompa air. Selain itu, dengan menggunakan komunikasi wireless IoT, sistem pembiakan ulat Hongkong ini dapat dipantau dari jarak jauh oleh pengguna. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan berhasil menurunkan rata-rata kematian ulat hongkong sebesar 54%.

Acknowledgement

Penelitian ini dibiayai oleh dana DIPA Politeknik Negeri Malang dengan nomor SP DIPA-023.18.2.77606/2024.

Daftar Pustaka

- [1] N. H. A. Jalil, J. A. Malek & E. A. Choy. "Pusat Transformasi Bandar (UTC) sebagai Pusat Hentian Setempat: Kajian Kepuasan pelanggan terhadap perkhidmatan UTC Kuala Lumpur," *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, vol. 11, no. 1, pp. 143-157, 2015.
- [2] F. K. Astuti, A. Iskandar & E. Fitasari, "Peningkatan Produksi Ulat Hongkong Di Peternak Rakyat Desa Patihan, Blitar Melalui Teknologi Modifikasi Ruang

- Menggunakan Exhaust Dan Termometer Digital Otomatis," *Jurnal Akses Pengabdian Indonesia (JAPI)*, vol. 2, no. 1, pp. 39–48, Aug. 2017.
- [3] Wahid, S. B. Nugraha & D. Hartanto, "Peningkatan Produktivitas Budidaya Dan Diversifikasi Limbah Ternak Ulut Hongkong Di Semarang," *Panrita Abdi - Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 168–175, 2021.
- [4] Z. B. S. A. A. Rahman, E. A. Z. Hamidi & L. Kamelia, "Sistem Pengaturan Suhu Pada Kandang Ulut Jerman Menggunakan Arduino Uno", *SENTER*, pp. 103–109, Jan. 2019.
- [5] A. Purnomo, M. Mashudi, & J. W. Dika, "Perancangan Monitoring dan Pengatur Suhu Kandang Ulut Hongkong (Tenebrio Molitor) Berbasis IOT," *Journal of Science Nusantara*, vol. 1, no. 1, pp. 50–64, 2021.
- [6] L. Indra, H. setiawan, D. Setyawan, R. Y. M. Wicaksana, & R. A. Subagja, "Pengolahan Sampah Anorganik Menggunakan Ulut Hongkong dan Ulut Jerman di Padukuhan Wuni, Giricahyo, Gunung Kidul," *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan*, vol. 3, no. 1, pp. 1229–1235, 2021.
- [7] D. G. P. L. Hapsari, A. M. Fuah & Y. C. Endrawati, "Produktifitas Ulut Hongkong (Tenebrio molitor) pada Media Pakan yang Berbeda," *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, vol. 6, no. 2, pp. 53–59, 2018.
- [8] Setyawan, C.W., Wahyuni, W., & Al-Kurnia, D. Effect of Feeding Cage Caterpillar Flour (*Alphitobius diaperinus*) on Production Performance of Laying Quail (*Coturnix Japonica*). *International Journal of Animal Science*, vol. 3, no. 2, pp. 41-48, 2020.
- [9] R. Lazuardi, A. Baihaqi, & T. Fauzi, "Analisis Kelayakan Usaha Budidaya Ulut Hongkong (Tenebrio Molitor) (Studi Kasus Usaha Budidaya Ulut Hongkong di Kecamatan Indrapuri Kabupaten Aceh Besar)," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 5, no. 1, pp. 108-120, 2020.
- [10] S. Suyatmo, C. I. Cahyadi, S. Syafriwel, R. Khair, & I. Idris. "Rancang Bangun Prototype Robot Pengantar Barang Cargo Berbasis Arduino Mega Dengan IOT," *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika (JSON)*, vol. 1, no. 3, pp 215–219, 2020.
- [11] R. H. Y. Perdana, N. Hidayati, A. W. Yulianto, V. Al Hadid Firdaus, N. N. Sari & D. Suprianto, "Jig Detection Using Scanning Method Base On Internet Of Things For Smart Learning Factory," *2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, pp. 1-5, 2020.
- [12] Y. Pramitarini, R. H. Y. Perdana, T. Tran, K. Shim & B. An, "A Hybrid Price Auction-Based Secure Routing Protocol Using Advanced Speed and Cosine Similarity-Based Clustering against Sinkhole Attack in VANETs," *Sensors*, vol. 22, no. 15, pp. 1–22, 2022.
- [13] R. H. Y. Perdana, Hudiono, M. Taufik, A. E. Rakhmania, R. M. Akbar, & Z. Arifin, "Hospital queue control system using Quick Response Code (QR Code) as verification of patient's arrival," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 8, 2019.
- [14] L. D. Mustafa, S. H. Susilo & R. H. Y. Perdana, "Detection of Salak Chips readiness on vacuum frying machines based on vacuum pipe temperature and frying time," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 732, no. 1, 2020.
- [15] H. Hudiono, M. Taufik, R. H. Y. Perdana & A. E. Rakhmania, "Telemetry of Rainfall Measurement Results Using 433 MHz Wireless Transmission", *INFOTEL*, vol. 13, no. 3, Aug. 2021.
- [16] R. H. Y. Perdana, A.E. Rakhmania & A. Hariyadi, "Wireless Intelligent Power Switch berbasis Wireless Sensor Network," *Jurnal IPTEK*, vol. 24, no. 1, pp. 19-26, 2020.

- [17]M. Taufik, H. Hudiono, A. E. Rakhmania, R. H. Y. Perdana & A. S. Sari, "An Internet of Things Based Intercity Bus Management System for Smart City," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 1219–1226, 2021.