

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA PETETAS TELUR DALAM RUANGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) MENGUNAKAN ALGORITMA *SUPPORT VECTOR MACHINE* (SVM) DAN METODE *PROTOTYPING*

Adhitya Balfis Suriono¹, Firahmi Rizky²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Email: adhityabalfis04@gmail.com

ABSTRAK

Proses penetasan telur merupakan salah satu tahapan penting dalam usaha peternakan karena keberhasilannya dipengaruhi oleh kestabilan kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembapan udara. Perubahan suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat mengganggu perkembangan embrio dan meningkatkan risiko kegagalan penetasan.

Pengaturan suhu pada proses penetasan masih dapat dilakukan secara manual sehingga kurang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembapan pada ruang penetasan telur berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dan metode *Prototyping*.

Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor DHT22 untuk memperoleh data suhu dan kelembapan secara real-time, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data, serta relay dan lampu pijar sebagai komponen pengendali suhu. Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan algoritma SVM untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan ke dalam kategori dingin, optimal, dan panas.

Hasil klasifikasi digunakan sebagai dasar pengendalian lampu pijar secara otomatis untuk membantu menjaga kondisi suhu ruang penetasan tetap berada pada kondisi yang sesuai. Data hasil monitoring juga dikirim melalui jaringan WiFi dan dapat ditampilkan pada sistem monitoring berbasis web atau perangkat mobile. Metode *Prototyping* digunakan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan prototype, implementasi, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan sistem.

Sistem yang dirancang diharapkan dapat membantu proses pemantauan dan pengendalian lingkungan penetasan secara real-time, mengurangi ketergantungan terhadap pengaturan manual, serta mendukung kestabilan kondisi lingkungan selama proses penetasan telur.

Kata Kunci: Internet of Things, *Support Vector Machine*, ESP32, DHT22, monitoring suhu, penetasan telur, *Prototyping*.

ABSTRACT

Egg incubation is an important stage in poultry farming because its success is strongly influenced by the stability of environmental conditions, particularly temperature and humidity. Temperature fluctuations that are too low or too high can interfere with embryo development and increase the risk of incubation failure. Temperature regulation during the incubation process may still be performed manually, making the system less responsive to changes in environmental conditions.

This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring and temperature control system for an egg incubation room using the Support Vector Machine (SVM) algorithm and the Prototyping method. The developed system uses a DHT22 sensor to obtain real-time temperature and humidity data, an ESP32

microcontroller as the main data processing unit, and a relay and incandescent lamp as temperature control components. The sensor data are processed using the SVM algorithm to classify environmental conditions into three categories: cold, optimal, and hot.

The classification results are used as the basis for automatically controlling the incandescent lamp to help maintain the temperature of the incubation room within the required conditions. Monitoring data are also transmitted through a WiFi network and can be displayed through a web-based or mobile monitoring system.

Prototyping method is implemented through the stages of requirements identification, prototype design, implementation, testing, evaluation, and system refinement.

Proposed system is expected to support real-time monitoring and automatic environmental control, reduce dependence on manual temperature regulation, and maintain stable environmental conditions during the egg incubation process.

Keywords: Internet of Things, Support Vector Machine, ESP32, DHT22, temperature monitoring, egg incubation, Prototyping.

PENDAHULUAN

Penetasan telur ayam merupakan tahapan penting dalam kegiatan peternakan karena berpengaruh langsung terhadap keberhasilan produksi dan tingkat keuntungan yang diperoleh peternak. Keberhasilan proses ini sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan inkubator, terutama kestabilan suhu dan kelembapan udara. Suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan embrio, menyebabkan kematian embrio di dalam telur, serta menurunkan persentase daya tetas. Dampak tersebut dapat menimbulkan kerugian ekonomi bagi peternak, khususnya ketika jumlah anak ayam atau *Day Old Chick* (DOC) yang dihasilkan tidak sesuai dengan target produksi (Food and Agriculture Organization, 2013, FAO Animal Production and Health Guidelines, FAO Press). Fluktuasi cuaca harian, seperti hujan, panas berlebih, dan penurunan suhu secara tiba-tiba, juga dapat memengaruhi kestabilan suhu di dalam inkubator. Oleh sebab itu, diperlukan sistem pengendalian suhu yang mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara cepat dan akurat. Pada peternakan tradisional, pengaturan suhu umumnya masih dilakukan secara manual melalui pengoperasian lampu pemanas tanpa didukung pemantauan kondisi suhu secara *real-time*. Cara tersebut berpotensi menyebabkan pengendalian suhu kurang optimal dan keterlambatan dalam menyesuaikan perubahan kondisi lingkungan (World Health Organization, 2010, WHO Press).

Penggunaan lampu pemanas merupakan salah satu alternatif untuk mempertahankan suhu lingkungan penetasan agar tetap sesuai dengan kebutuhan perkembangan embrio, terutama ketika suhu lingkungan menurun pada malam hari atau saat cuaca dingin. Akan tetapi, pengoperasian lampu tanpa sistem pengendalian otomatis dapat mengakibatkan penggunaan energi yang kurang efisien dan menghasilkan suhu yang tidak sesuai dengan kebutuhan penetasan. Di sisi lain, data lingkungan yang diperoleh melalui sensor memiliki variasi yang dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain waktu pengukuran, perubahan cuaca di luar ruangan, dan kondisi lingkungan di sekitar inkubator. Variasi tersebut memerlukan pengolahan data yang tepat agar kondisi suhu dapat diidentifikasi secara akurat sebagai dasar

pengambilan keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu pemanas (Han, Kamber, & Pei, 2012, Morgan Kaufmann). Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah algoritma *Support Vector Machine* (SVM), yaitu metode pembelajaran mesin yang digunakan untuk mengklasifikasikan data berdasarkan karakteristik tertentu. Melalui penerapan SVM, data suhu yang diperoleh dari sensor dapat dikelompokkan ke dalam kategori dingin, optimal, atau panas sehingga sistem mampu menentukan pengoperasian lampu pemanas secara otomatis berdasarkan kondisi yang terdeteksi. Penggunaan algoritma ini diharapkan dapat membantu mempertahankan kestabilan suhu inkubator, meningkatkan efisiensi pengendalian lingkungan penetasan, serta mengurangi risiko kegagalan penetasan akibat perubahan suhu (Cortes & Vapnik, 1995, *Machine Learning Journal*, Springer; Vapnik, 1998, Wiley).

Pengembangan sistem pengendalian suhu dan kelembapan inkubator dilakukan menggunakan metode *prototyping* yang diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem, meliputi pengaturan suhu, pemantauan kelembapan, pemutaran telur secara otomatis, dan pemantauan kondisi inkubator dari jarak jauh. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, dirancang prototipe dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembapan DHT22, modul relay, lampu pemanas, serta aplikasi pemantauan berbasis internet. Sensor DHT22 berfungsi mengukur kondisi suhu dan kelembapan, sedangkan ESP32 mengolah data dan menjalankan mekanisme pengendalian sesuai dengan hasil klasifikasi yang dilakukan menggunakan algoritma SVM. Modul relay digunakan untuk mengatur pengoperasian lampu pemanas berdasarkan kondisi suhu yang terdeteksi. Selanjutnya, prototipe diuji untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memantau kondisi lingkungan, mengendalikan suhu secara otomatis, dan menjaga kestabilan kondisi inkubator sesuai dengan kebutuhan penetasan telur ayam. Penerapan sistem ini diharapkan dapat menghasilkan proses penetasan yang lebih terkontrol, efisien, dan mudah dipantau oleh peternak.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian rekayasa (*engineering research*) dengan metode *prototyping* untuk merancang dan membangun sistem pengendalian suhu dan kelembapan udara pada inkubator penetasan telur ayam berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan lampu pijar sebagai sumber panas. Metode *prototyping* dipilih karena memungkinkan proses pengembangan sistem dilakukan secara bertahap, mulai dari identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga evaluasi dan penyempurnaan sistem. Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur untuk mengkaji teori dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan proses penetasan telur ayam, pengaruh suhu dan kelembapan terhadap perkembangan embrio, serta penerapan teknologi IoT dan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Selanjutnya, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang meliputi sensor suhu dan kelembapan

DHT22, mikrokontroler ESP32, modul relay, lampu pijar, sumber daya listrik, serta perangkat lunak untuk pemantauan berbasis IoT dan pengolahan data menggunakan algoritma SVM.

Tahap berikutnya adalah perancangan dan implementasi prototipe dengan mengintegrasikan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, modul relay, lampu pijar, serta sistem pemantauan berbasis jaringan Wi-Fi. Perancangan sistem mencakup penyusunan diagram blok, diagram arsitektur IoT, alur kerja sistem, dan *flowchart* yang menggambarkan proses pembacaan data, pengolahan informasi, pengambilan keputusan, serta pengendalian lampu pemanas. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di dalam inkubator secara *real-time*, sedangkan ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan pengendali perangkat. Data hasil pengukuran selanjutnya diklasifikasikan menggunakan algoritma SVM ke dalam tiga kategori kondisi suhu, yaitu dingin, optimal, dan panas. Apabila kondisi suhu terdeteksi dingin, relay akan mengaktifkan lampu pijar untuk meningkatkan suhu inkubator. Sebaliknya, ketika suhu berada dalam kondisi panas, relay akan menonaktifkan lampu pemanas, sedangkan pada kondisi optimal sistem mempertahankan status pengendalian sesuai dengan kebutuhan. Data suhu, kelembapan, hasil klasifikasi, status lampu, dan waktu pengukuran selanjutnya dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke platform IoT berbasis *local host* agar dapat dipantau melalui *dashboard* web atau perangkat seluler.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi fungsi dan kinerja prototipe dalam menjalankan proses pemantauan serta pengendalian suhu dan kelembapan secara otomatis. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap kondisi lingkungan inkubator dan pengukuran menggunakan sensor DHT22. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi suhu dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan relatif (*Relative Humidity*/RH) dalam persentase (%), sedangkan variabel terikat berupa hasil klasifikasi kondisi suhu dan udara yang dihasilkan oleh algoritma SVM. Variabel kontrol digunakan untuk menjaga konsistensi proses pengujian berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Pengujian mencakup pemeriksaan ketepatan pembacaan sensor, penerapan algoritma SVM dalam mengklasifikasikan kondisi suhu, serta respons relay dan lampu pijar terhadap perubahan kondisi lingkungan. Sistem dirancang untuk mempertahankan suhu inkubator pada kisaran sekitar 37–39 $^{\circ}\text{C}$ sesuai rancangan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan di Dusun XIII, Desa Bangun Sari, Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, pada semester genap tahun akademik 2025/2026. Hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui kesesuaian kinerja sistem dengan tujuan penelitian. Apabila ditemukan kekurangan atau ketidaksesuaian, dilakukan evaluasi dan penyempurnaan pada perangkat keras maupun perangkat lunak hingga sistem dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan pemantauan dan pengendalian suhu inkubator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pembahasan ini membahas hasil implementasi dan pengujian sistem kualitas suhu udara petetas telur berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan sesuai dengan rancangan penelitian. Pembahasan meliputi hasil implementasi *prototype*, fungsi perangkat keras dan sistem, penerapan algoritma *support vector machine* pada proses pengolahan data serta hasil pengujian untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem dengan kebutuhan yang telah ditetapkan.

1. Hasil Implementasi *Prototyping*

Sistem kualitas suhu udara petetas telur telah direalisasikan dalam bentuk *prototype* yang mengintegrasikan ESP32, modul relay, DHT22, *Cooling Fan Brushless DC 12V*, ESP32 Shield Expansion. bentuk fisik *prototype* yang telah dibangun ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1 *Prototype Sistem Kualitas Suhu Udara*

Setelah seluruh komponen terhubung, sensor mulai membaca kondisi lingkungan di dalam ruang penetasan. Data tersebut kemudian diterima oleh ESP32 dan diproses menggunakan algoritma SVM. Hasil proses tersebut menentukan kondisi lingkungan yang terdeteksi.

Lampu pijar digunakan sebagai sumber panas utama. Ketika suhu berada pada kondisi yang membutuhkan pemanasan, sistem dapat mengaktifkan lampu melalui relay. Sebaliknya, ketika kondisi suhu sudah mencapai kondisi yang sesuai, lampu dapat dinonaktifkan. Sistem dirancang untuk membantu mempertahankan suhu ruang penetasan pada kisaran sekitar 37–39°C.

a. Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat ESP32 telah terintegrasi dalam satu system.



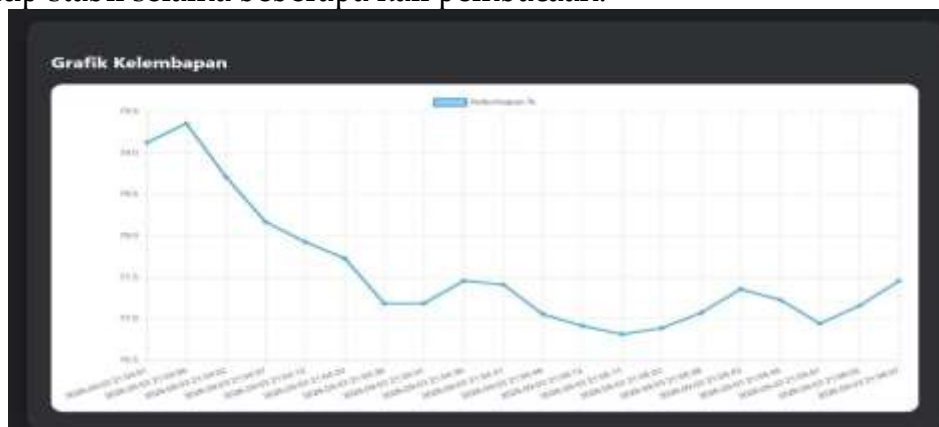
Gambar 2 Tampilan Dashboard Sistem

Sistem dilakukan setelah prototype berhasil dibuat dan komponen-komponen utama dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Sistem kemudian diatur agar proses pembacaan data, pengolahan data, dan pengendalian suhu dapat berlangsung secara otomatis.



Gambar 3 Tampilan Halaman Grafik Suhu

Grafik hasil pengujian, suhu pada alat penetas telur mengalami perubahan selama proses pengamatan. Pada awal pengujian, suhu yang terbaca sebesar 31,40°C. Kemudian suhu meningkat secara bertahap menjadi 31,50°C dan mencapai 31,60°C. Setelah mencapai suhu tersebut, kondisi suhu terlihat cukup stabil selama beberapa kali pembacaan.



Gambar 4 Tampilan Halaman Grafik Kelembapan

Berdasarkan grafik hasil pengujian, dapat dilihat bahwa kelembapan di dalam ruang penetasan mengalami perubahan selama proses pengamatan. Pada awal pengujian, nilai kelembapan berada di sekitar 79,1%, kemudian meningkat sedikit hingga mencapai 79,3%. Setelah itu, kelembapan mulai mengalami penurunan secara bertahap sampai berada di sekitar 76,8%. Setelah mencapai nilai terendah, kelembapan kembali mengalami sedikit peningkatan dan penurunan. Pada akhir pengamatan, nilai kelembapan berada di sekitar 77,5%. Perubahan ini menunjukkan bahwa kondisi kelembapan di dalam ruang penetasan tidak sepenuhnya konstan, tetapi masih mengalami fluktuasi.

Dengan adanya implementasi, proses pemantauan kondisi ruang penetasan menjadi lebih mudah karena pengguna tidak perlu melakukan pengecekan secara manual secara terus-menerus. Sistem dapat membantu memberikan informasi kondisi lingkungan sekaligus melakukan pengendalian terhadap sumber panas sesuai dengan hasil pembacaan sensor.

2. Hasil Pengujian Prototype

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibangun dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan terhadap beberapa bagian utama, yaitu sensor DHT22, algoritma SVM, sistem pengendalian lampu pijar, serta sistem monitoring berbasis IoT.

Tabel 1 *Pengujian Keseluruhan Sistem*

No.	Komponen yang Diuji	Input	Proses	Output yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Sensor DHT22	Suhu dan kelembapan	Membaca kondisi ruang penetasan	Data suhu dan kelembapan terbaca	Data terbaca	Berhasil
2	ESP32	Data DHT22	Mengolah data sensor	Data diproses oleh ESP32	Data berhasil diproses	Berhasil
3	Algoritma SVM	Suhu dan kelembapan	Klasifikasi kondisi	Dingin, optimal, panas	Dingin, optimal, panas	Berhasil
4	Relay	Hasil klasifikasi SVM	Mengatur ON/OFF	Relay aktif sesuai kondisi	Relay aktif sesuai kondisi	Berhasil
5	Lampu pijar	Sinyal relay	Menghasilkan panas	Lampu menyala saat kondisi dingin	Lampu menyala saat kondisi dingin	Berhasil

6	Lampu pijar	Sinyal relay	Menghentikan pemanasan	Lampu mati saat kondisi optimal/panas	Lampu mati saat kondisi optimal/panas	Berhasil
7	WiFi/IoT	Data ESP32	Mengirim data	Data terkirim ke monitoring	Data terkirim ke monitoring	Berhasil
8	Dashboard monitoring	Data IoT	Menampilkan data	Suhu, kelembapan, kondisi, dan status lampu tampil	Suhu, kelembapan, kondisi, dan status lampu tampil	Berhasil
9	Sistem keseluruhan	Suhu dan kelembapan	DHT22, ESP32, SVM, relay, lampu, IoT	Sistem monitoring dan pengendalian berjalan otomatis	Sistem monitoring dan pengendalian berjalan otomatis	Berhasil

3. Kelebihan Dan Kekurangan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, *prototype* sistem monitoring kualitas suhu udara petetas telur memiliki beberapa kelebihan untuk mengatur suhu didalam *incubator*, namun masih terdapat sejumlah keterbatasan. Kelebihan dan kekurangan sistem dianalisis berdasarkan hasil implementasi dan pengujian pada setiap fungsi utama sistem.

a. Kelebihan Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut.

1. Sensor DHT22 dapat digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan secara langsung sehingga kondisi ruang penetasan dapat dipantau secara berkala.
2. Sistem dapat mengendalikan lampu pijar berdasarkan kondisi lingkungan yang terbaca oleh sensor. Hal ini dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengatur lampu secara manual.
3. Penggunaan algoritma SVM membantu sistem dalam menentukan kondisi lingkungan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Kondisi tersebut dibagi menjadi dingin, optimal, dan panas.
4. Data hasil pembacaan sensor dapat dikirim melalui jaringan WiFi sehingga kondisi ruang penetasan dapat dipantau melalui sistem monitoring.
5. Sistem dapat membantu pengguna dalam melakukan pemantauan dan pengendalian suhu tanpa harus melakukan pemeriksaan secara terus-menerus.

b. Kekurangan Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem masih memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut.

1. Sistem berfokus pada pembacaan suhu dan kelembapan sehingga belum mempertimbangkan parameter lingkungan lainnya
2. Pengendalian suhu bergantung pada lampu pijar sebagai sumber panas utama sehingga pengembangan sistem dengan perangkat pemanas yang lebih sesuai masih memungkinkan.
3. Fitur IoT membutuhkan koneksi jaringan agar data dapat dikirim dan ditampilkan pada sistem monitoring.
4. Sistem lebih berfokus pada kondisi suhu dan kelembapan sehingga faktor lain yang dapat memengaruhi keberhasilan penetasan belum menjadi bagian utama dari sistem.
5. Sistem yang dibuat masih merupakan prototype sehingga masih terdapat kemungkinan untuk dilakukan penyempurnaan, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, mulai dari tahap perancangan, pembuatan *prototype*, implementasi, hingga pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian suhu pada ruang penetasan telur berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) berhasil dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Sistem ini mengintegrasikan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, modul relay, dan lampu pijar dalam satu kesatuan. Sensor DHT22 berfungsi untuk membaca suhu dan kelembapan di dalam ruang penetasan, sedangkan ESP32 bertugas mengolah data sensor dan mengendalikan kerja sistem. Data suhu dan kelembapan tersebut digunakan sebagai masukan bagi algoritma SVM untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan ke dalam tiga kategori, yaitu dingin, optimal, dan panas. Hasil klasifikasi selanjutnya menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pengaturan lampu pijar sesuai dengan kondisi suhu yang terdeteksi.

Sistem yang dikembangkan dirancang untuk membantu mengatur suhu ruang penetasan secara otomatis melalui pengendalian lampu pijar menggunakan modul relay. Dengan adanya mekanisme tersebut, kebutuhan pengaturan lampu secara manual dan terus-menerus dapat dikurangi sehingga proses pengendalian suhu menjadi lebih praktis. Selain itu, penerapan teknologi IoT memungkinkan data suhu dan kelembapan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan pada sistem monitoring, sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruang penetasan tanpa harus selalu melakukan pemeriksaan secara langsung. Penggunaan metode *prototyping* juga mendukung proses pengembangan sistem secara bertahap, mulai dari pembuatan rancangan awal, implementasi, pengujian, hingga evaluasi dan perbaikan

apabila ditemukan kekurangan.

Secara keseluruhan, sistem monitoring dan pengendalian suhu ruang penetasan telur berbasis IoT menggunakan algoritma SVM dapat menjadi salah satu alternatif teknologi untuk membantu pemantauan dan pengaturan kondisi lingkungan penetasan secara otomatis. Integrasi sensor, mikrokontroler, algoritma klasifikasi, dan lampu pijar memungkinkan proses pengendalian dilakukan berdasarkan data suhu dan kelembapan yang diperoleh dari sensor. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan dan pengaturan suhu secara manual serta memudahkan pengguna dalam memantau kondisi ruang penetasan. Dengan demikian, sistem yang dirancang memiliki potensi untuk mendukung pengelolaan lingkungan penetasan telur ayam secara lebih praktis dan terintegrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adafruit Industries. (2022). *DHT22 temperature-humidity sensor documentation*. New York: Adafruit Learning System.
- Aosong Electronics. (2018). *AM2302 (DHT22) temperature and humidity sensor datasheet*. Guangzhou: Aosong Electronics Co., Ltd.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297. Springer.
- Espressif Systems. (2019). *ESP32 series datasheet*. Shanghai: Espressif Systems.
- Espressif Systems. (2024). *ESP32 Series Datasheet*. Shanghai: Espressif Systems.
- Food and Agriculture Organization. (2013). *FAO animal production and health guidelines*. FAO Press.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Kalalembang, A. (1994). *Manajemen pemeliharaan ayam petelur*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Kurniawan, A., & Setiawan, D. (2021). Implementasi Internet of Things (IoT) pada sistem monitoring suhu dan kelembapan kandang ayam berbasis ESP32. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12(2), 45–53.
- Mazidi, M. A., Mazidi, J. G., & McKinlay, R. D. (2016). *The AVR microcontroller and embedded systems*. Pearson Education.
- Nugroho, R., Prasetyo, E., & Hidayat, T. (2020). Sistem monitoring suhu kandang ayam otomatis menggunakan sensor DHT22 berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Sistem Cerdas*, 5(1), 22–30.
- Pratama, R., & Wijaya, A. (2022). Penerapan algoritma Support Vector Machine untuk klasifikasi kondisi suhu pada peternakan ayam. *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 7(3), 101–109.
- Pratama, R., Nugraha, A., & Wijaya, D. (2023). "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Inkubator Telur Berbasis IoT Menggunakan ESP32". *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 12(2), 85–92.

- Salu, S. (1996). *Produksi ternak unggas modern*. Jakarta: Bina Aksara.
- Saputra, H., & Ramadhan, M. (2021). Rancang bangun sistem pengontrol suhu kandang ayam berbasis mikrokontroler ESP32. *Jurnal Sistem Embedded dan IoT*, 4(2), 60–68.
- Setianto, J. (2008). *Manajemen usaha peternakan ayam petelur*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Setiawati, T., Ismoyowati, & Mugiyono, S. (2017). Pengaruh suhu lingkungan terhadap produktivitas ayam petelur. *Jurnal Ilmu Peternakan Indonesia*, 19(2), 95–102.
- Siregar, F., & Lubis, A. (2023). Prototype sistem monitoring kualitas udara kandang ayam berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Komputer*, 8(1), 15–24.
- Sugiyanto. (2008). *Perancangan Sistem Penetas (Mesin Tetas) Telur dengan Media Pemanas Lampu Pijar*. Universitas Mercu Buana.
- Vapnik, V. N. (1998). *Statistical learning theory*. Wiley.
- World Health Organization. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. WHO Press.
- Yahav, S., Straschnow, A., Luger, D., Shinder, D., Tanny, J., & Cohen, S. (2005). Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. *Poultry Science*, 84(2), 253–258.
- Yusuf, M., & Andriani, S. (2022). Analisis penggunaan lampu pijar sebagai pengatur suhu pada proses penetasan telur ayam. *Jurnal Peternakan Modern*, 6(2), 88–96.
- Zulhajji. (2021). *Analisis Perbandingan Temperatur Dalam dan Luar serta Kelembaban Relatif pada Mesin Penetas Telur Tenaga Listrik*. Jurnal Media Elektrik.
- Zulkarnain, I., & Harahap, N. (2021). Pengembangan metode prototyping pada sistem monitoring berbasis IoT. *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, 9(1), 33–41.