

Implementasi Logika Fuzzy Dalam Sistem Pendingin Otomatis Kandang Ayam Broiler *Closed House*.

Heva Adlli Wijaya^{*1}, Sri Hartati²

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: ^{*1}heva.adlli0303@mail.ugm.ac.id, ²shartati@ugm.ac.id

Abstrak

Industri peternakan ayam broiler di Indonesia memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan protein nasional, tetapi suhu tropis tinggi menjadi tantangan yang dapat memicu heat stress pada ayam. Kondisi ini berdampak pada penurunan produktivitas, kesejahteraan ayam, dan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, sistem otomatisasi pengontrol suhu dan kelembaban menjadi kebutuhan penting, khususnya dalam menghadapi tantangan tersebut. Penelitian ini merancang sistem kontrol otomatis suhu dan kelembaban menggunakan logika Fuzzy Sugeno dengan mengintegrasikan sensor kelembaban dan suhu serta pompa dan blower sebagai aktuator.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini berhasil meningkatkan stabilitas suhu kandang, dengan kategori aman berdasarkan Temperature-Humidity Index (THI) meningkat dari 27,60% menjadi 50,56%. Uji performa sistem menghasilkan nilai MAE 1,475; RMSE 3,903; dan R² Score 0,988 untuk kontrol blower, serta MAE 0,037; RMSE 0,124; dan R² Score 0,923 untuk kontrol pompa. Selain itu, sistem ini meningkatkan indeks performa ayam broiler dari 366 menjadi 406. Solusi ini terbukti efektif dalam mendukung efisiensi serta keberlanjutan industri peternakan ayam broiler.

Kata kunci—Fuzzy Sugeno, Internet of Things, ayam broiler, heat stress

Abstract

The broiler chicken farming industry in Indonesia plays an essential role in providing the national protein needs, but high tropical temperatures cause a challenge that can trigger heat stress in chickens. This condition impacts productivity, chicken welfare, and economic losses. Therefore, an automated temperature and humidity control system becomes a critical necessity, particularly in addressing these challenges. This study designed an automated temperature and humidity control system using Fuzzy Sugeno logic by integrating pumps and blowers as actuators, with sensors to monitor the broiler coop conditions.

The results showed that the system successfully improved the stability of the cage temperature, with the safe category based on the Temperature-Humidity Index (THI) increasing from 27.60% to 50.56%. The system performance test resulted in MAE 1.475; RMSE 3.903; and R² Score 0.988 for blower control, and MAE 0.037; RMSE 0.124; and R² Score 0.923 for pump control. In addition, the system improved the broiler performance index from 366 to 406. This solution proved effective in supporting the efficiency and sustainability of the broiler farming industry.

Keywords—Fuzzy Sugeno, Internet of Things, broiler chicken, heat stress

1. PENDAHULUAN

Industri ayam broiler di Indonesia memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan protein nasional, dengan populasi ayam broiler mencapai 3,17 miliar ekor pada tahun 2023 [1]. Namun, suhu tropis menimbulkan tantangan besar. Suhu ideal untuk ayam broiler adalah 20-27°C sedangkan untuk kelembaban adalah 50-70%, sementara suhu lingkungan di Indonesia dapat mencapai 35°C dengan kelembaban 70-80% [2]. Kondisi kandang yang tidak sesuai dapat menimbulkan *heat stress* pada ayam.

Heat stress berdampak signifikan terhadap produktivitas dan dapat menyebabkan kerugian besar bagi peternak. Kasus ini diperparah oleh perubahan iklim dan fenomena El Nino yang meningkatkan suhu rata-rata di Indonesia. Peternakan yang belum menerapkan sistem pendingin otomatis cenderung kesulitan mengontrol suhu dan kelembaban, mengandalkan metode manual yang kurang akurat [3].

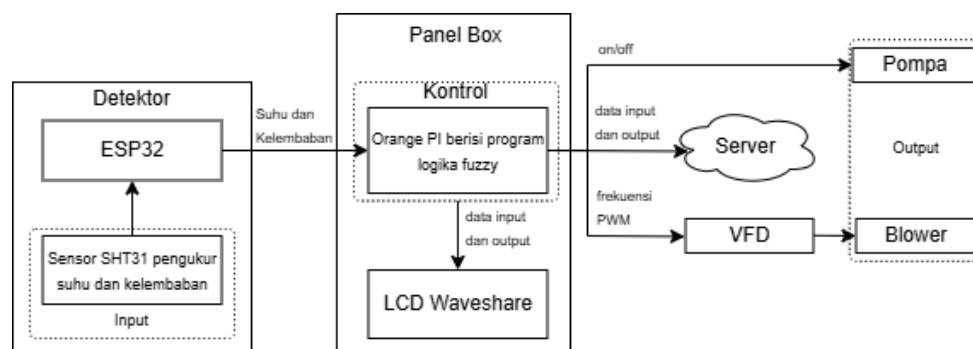
Dalam rangka meningkatkan *animal welfare*, meminimalisasi *heat stress* pada ayam, dan meningkatkan kualitas manajemen pemeliharaan ayam, diperlukan sistem kontrol suhu dan kelembaban yang bekerja secara otomatis. Salah satu pendekatan yang efektif adalah penggunaan logika fuzzy, yang mampu memetakan input menjadi output secara adaptif. Logika fuzzy memiliki keunggulan dalam menangani data yang bersifat kualitatif dan ambigu [4], sehingga cocok untuk mengontrol kondisi lingkungan kandang secara dinamis dan akurat.

Penelitian terkait otomatisasi sistem pendingin kandang ayam sudah pernah dilakukan sebelumnya, salah satunya adalah penelitian dengan metode yang sama yaitu fuzzy sugeno untuk kandang ayam dengan populasi 2250. Pada penelitian tersebut berhasil menekan angka kematian ayam dari 93 ekor menjadi 43 ekor kasus kematian [5]. Penelitian tersebut terinspirasi dari penelitian penerapan naive bayes dalam sistem pendingin kandang ayam. Penelitian ini dilakukan dengan populasi ayam 600 ekor ayam broiler. Penelitian tersebut berhasil mengurangi kematian ayam dari 64 ekor menjadi 31 ekor [3].

2. METODE PENELITIAN

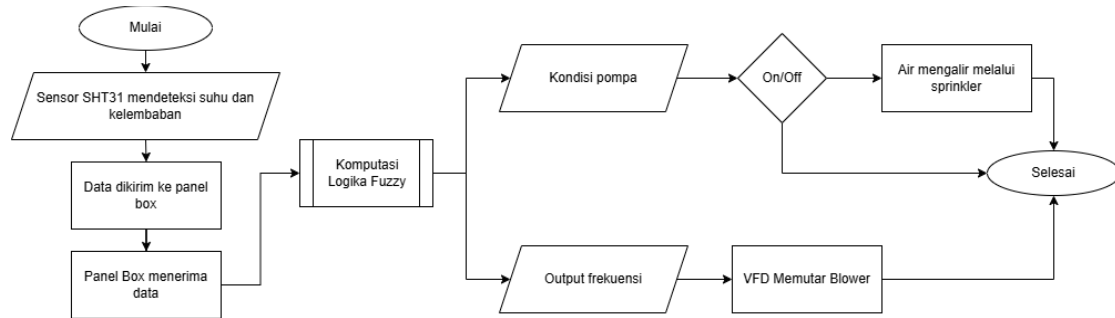
2.1 Analisis Sistem

Melalui penelitian ini akan diterapkan logika fuzzy untuk memetakan input dan output pada sistem pendingin di kandang. Pada sistem pendingin tersebut terdapat dua masukan, yaitu suhu dan kelembaban. Sedangkan keluaran dari sistem berupa pompa dan blower sebagai aktuator. Berikut diagram sistem pendingin kandang secara keseluruhan.



Gambar 1 Diagram sistem pendingin kandang keseluruhan

Logika fuzzy dalam sistem pendingin diterapkan pada panel box dengan mini komputer Orange Pi Zero 2W dengan bahasa pemrograman Python. Panel box juga terhubung dengan dua aktuator, yaitu pompa dan blower. Untuk alur kerja sistem dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2 Alur kerja sistem pendingin kandang keseluruhan

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan komponen yang tertera pada tabel alat dan bahan untuk menerapkan logika fuzzy dalam sistem pendingin dalam rangka meminimalisasi heat stress pada ayam, seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1 Daftar alat

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	Perangkat untuk melakukan perancangan logika fuzzy ke mini PC.
2	Visual Studio Code	Text editor untuk menuliskan naskah program.

Tabel 2 Daftar bahan

No	Bahan	Fungsi
1	Komponen Detektor	Mendeteksi kelembaban dan suhu dalam kandang.
2	Komponen Panel Box	Memproses data dari sensor-sensor dan mengendalikan blower dan pompa.
3	Firestore Database	Menyimpan data masukan dan keluaran dari sistem pendingin.
4	Variable Frequency Drive (VFD)	Mengontrol gerak motor blower dengan mengubah sinyal PWM dari mini komputer menjadi frekuensi.
5	Blower	Menarik butiran air dari <i>cooling pad</i> dan gas-gas yang berbahaya bagi ayam keluar kandang.
6	Pompa	Memompa air dari sumber penampungan.

2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari analisis permasalahan, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian sistem, pengumpulan data, evaluasi sistem, dan pembuatan laporan penelitian. Secara lengkap, tahapan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2.

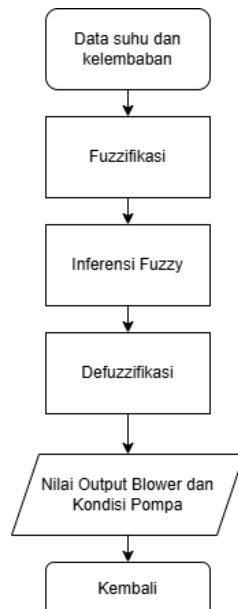
Tabel 2 Tahapan penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Keterangan
1	Analisis Permasalahan	Analisis permasalahan dilakukan dengan membaca literatur penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki permasalahan yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berdasarkan analisis permasalahan tersebut, akan dirumuskan solusi atas permasalahan yang terjadi. Selain itu, juga dilakukan wawancara langsung dengan peternak untuk validasi permasalahan yang akan diselesaikan.

2	Perancangan Sistem	Merancang sistem kontrol pendingin kandang ayam dengan menggunakan logika fuzzy, mulai dari penentuan fungsi keanggotaan setiap masukan, inferensi fuzzy, hingga proses defuzzifikasi.
3	Penerapan Sistem	Pemrograman logika fuzzy kedalam mini komputer Orange Pi Zero 2W di panel box sistem pendingin.
4	Pengujian Sistem	Melakukan uji coba sistem kontrol logika fuzzy dalam mengontrol aktuator berdasarkan hasil masukan secara <i>realtime</i> .
4	Pengumpulan Data	Pengumpulan data dilakukan secara <i>realtime</i> berupa data bacaan sensor, kondisi aktuator sistem pendingin kandang, dan <i>heat stress indeks</i> ke dalam database. Selain itu juga dilakukan pengambilan data mortalitas, umur panen ayam, berat ayam, dan konversi pakan ayam broiler untuk menghitung <i>indeks performance</i> ayam broiler sebagai parameter pendukung <i>heat stress indeks</i> pada ayam.
6	Evaluasi Sistem	Melakukan evaluasi terhadap sistem kontrol secara keseluruhan, mulai dari sistem logika fuzzy dan pengaruh sistem kontrol terhadap kandang dan ayam broiler.
7	Penyusunan Laporan Penelitian	Pembuatan laporan penelitian mengenai hasil dan proses penelitian yang dilakukan

2.4 Rancangan Logika Fuzzy

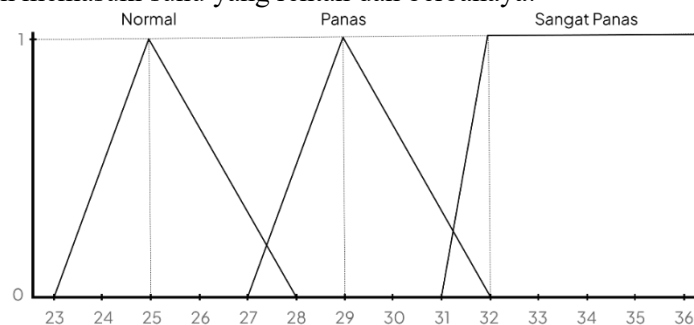
Terdapat tiga tahapan dalam logika fuzzy, yaitu fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi [6]. Algoritma fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Fuzzy Sugeno. Sebelum melakukan tahapan fuzzy, perlu dirumuskan fungsi-fungsi keanggotaan dari setiap input dan output. Untuk mengetahui alur kerja dari sistem berikut merupakan skema alur kerja sistem fuzzy pada sistem.



Gambar 3 Alur kerja logika fuzzy

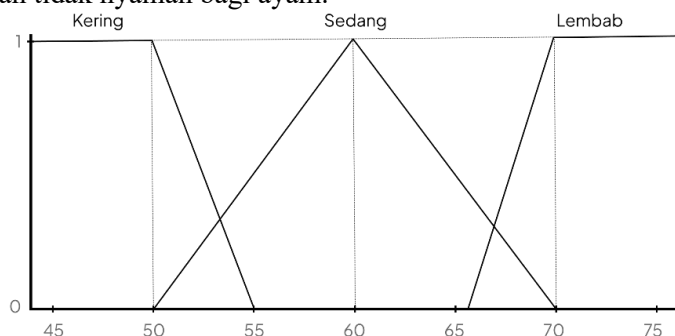
Peternakan Viarjaya, fluktuasi rata-rata suhu harian yang terukur dengan termometer adalah di antara 20°C-32°C, dengan suhu kandang maksimal 35°C. Suhu yang nyaman bagi ayam pada usia penelitian adalah 24°C-28°C. Untuk suhu akan dibagi menjadi tiga label domain fungsi

keanggotaan, yaitu normal, panas, dan sangat panas. Dari setiap domain selanjutnya dibuat bentuk kurva untuk menggambarkan range dari masing-masing domain. Bentuk dari kurva domain pada fungsi keanggotaan suhu menggunakan domain keanggotaan berbentuk segitiga, yaitu pada domain panas dan normal, serta satu domain keanggotaan berbentuk bahu, yaitu pada domain sangat panas. Grafik segitiga dipilih karena domain normal dan panas masih berupa rentang angka suhu. Sedangkan untuk domain sangat panas menggunakan bahu karena suhu di atas 31°C pada ayam broiler sudah memasuki suhu yang rentan dan berbahaya.



Gambar 4 Grafik fungsi keanggotaan suhu

Rata-rata fluktuasi kelembaban harian yang terukur dari hygrometer pada Peternakan Viarjaya adalah 66%-75% dengan kelembaban maksimal 80%, sedangkan kelembaban minimum adalah 45%. Kondisi ideal kelembaban kandang ayam adalah 50%-70%. Untuk kelembaban, akan dibagi menjadi tiga label domain, yaitu kering, sedang, dan lembab. Bentuk grafik pada fungsi keanggotaan kelembaban berbentuk gabungan dengan dua domain berbentuk bahu, yaitu domain lembab dan domain kering, sedangkan domain sedang mengikuti rentang kelembaban ideal sehingga dipilih grafik berbentuk segitiga. Bentuk bahu dipilih untuk menandakan kondisi setelah terjadi kurva naik pada fungsi lembab atau sebelum kurva turun pada fungsi kering merupakan kondisi yang sudah tidak nyaman bagi ayam.



Gambar 5 Grafik fungsi keanggotaan kelembaban

Untuk keluaran nilai keanggotaan pompa akan dibagi menjadi dua, yaitu menyala dan mati. Ketika menyala, sistem akan bernilai 1, dan ketika mati, sistem akan bernilai 0. Berikut adalah tabel dan gambar fungsi keanggotaan pompa.

Tabel 3 Nilai keanggotaan pompa

Label	Anggota
Nyala	0
Mati	1

Pada blower dibagi menjadi 4 label yaitu Mati, Pelan, Normal, Cepat. 4 label tersebut merupakan persentasi sinyal PWM yang akan dikirimkan dari panel box ke VFD dari VFD inilah kemudian sinyal pwm akan di konversi kedalam frekuensi untuk memutar blower. Berikut adalah tabel keanggotaan dan gambar fungsi keanggotaan blower.

Tabel 4 Nilai keanggotaan blower

Label	Anggota (%)
Cepat	80-100
Normal	40-80

Pelan	0-50
Berhenti	0

Setelah diperoleh fungsi keanggotaan selanjutnya dapat ditentukan aturan-aturan fuzzy. Fungsi dari aturan fuzzy adalah untuk mendefinisikan hubungan antara input dan output pada sistem fuzzy [7]. Aturan-aturan fuzzy pada penelitian ini menggunakan penghubung AND. Untuk detail aturan fuzzy yang telah disesuaikan adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 5 Aturan fuzzy

No	Input		Output	
	Suhu	Kelembaban	Pompa	Blower
1	Normal	Kering	Nyala	Pelan
2	Normal	Sedang	Mati	Berhenti
3	Normal	Lembab	Mati	Pelan
4	Panas	Kering	Nyala	Cepat
5	Panas	Sedang	Nyala	Normal
6	Panas	Lembab	Mati	Normal
7	Sangat Panas	Kering	Nyala	Cepat
8	Sangat Panas	Sedang	Nyala	Cepat
9	Sangat Panas	Lembab	Mati	Cepat

Setelah memperoleh himpunan keanggotaan untuk input dan output beserta aturan-aturan fuzzy selanjutnya dapat dilanjutkan ke proses perancangan metode Fuzzy Sugeno.

2.4.1 Fuzzifikasi

Dari fungsi keanggotaan suhu diatas nilai suhu dapat diproses dengan persamaan fuzzifikasi berikut. Persamaan fuzzifikasi merepresentasikan grafik keanggotaan dan digunakan pada saat menghitung derajat keanggotaan dari masukan [8], dalam penelitian ini berupa suhu dan kelembaban. Untuk persamaan suhu akan dibagi menjadi tiga yaitu suhu pada kondisi normal, panas, dan sangat panas.

$$\mu_{Normal}[x] = \begin{cases} \frac{x-23}{25-23} & 23 < x < 25 \\ 1 & x = 25 \\ \frac{28-x}{28-25} & 28 < x < 25 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Panas}[x] = \begin{cases} \frac{x-27}{29-27} & 27 < x < 29 \\ 1 & x = 29 \\ \frac{32-x}{32-29} & 28 < x < 25 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Sangat\ Panas}[x] = \begin{cases} \frac{x-31}{32-31} & 31 < x < 32 \\ 1 & x \geq 32 \end{cases} \quad (3)$$

Sedangkan untuk kelembaban dapat diproses dengan persamaan fuzzifikasi berikut. Persamaan tersebut merepresentasikan grafik keanggotaan dan digunakan pada saat menghitung derajat keanggotaan pada kondisi kering, sedang, dan lembab.

$$\mu_{Kering}[x] = \begin{cases} 1 & x \leq 25 \\ \frac{55-x}{55-50} & 28 < x < 25 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} \frac{x-50}{60-50} & 50 < x < 60 \\ 1 & x = 60 \\ \frac{70-x}{70-60} & 60 < x < 70 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{Lembab}[x] = \begin{cases} \frac{x-65}{70-65} & 50 < x < 65 \\ 1 & x \geq 70 \end{cases} \quad (6)$$

2.4.2 Inferensi Fuzzy

Setiap masukan pada sistem dihitung derajat keanggotannya, selanjutnya akan dicocokkan dengan aturan fuzzy untuk dilakukan inferensi fuzzy. Proses inferensi fuzzy yang terjadi pada metode Fuzzy Sugeno adalah mengaplikasikan fungsi implikasi minimum (MIN) dari nilai linguistik dengan menggunakan aturan *conjunction* ($\cap$) [4].

$$\alpha - \text{predikat} = \mu_{Suhu} \cap \mu_{kelembaban} \quad (7)$$

Setelah pengaplikasian fungsi implikasi MIN, didapatkan nilai-nilai linguistik untuk keluaran pompa dan blower. Selanjutnya dilakukan komposisi aturan menggunakan fungsi *maximum* (MAX) dengan menggunakan aturan *disjunction* ($\cup$) [4].

2.4.3 Defuzzifikasi

Berdasarkan persamaan Fuzzy Sugeno, keluaran Fuzzy Sugeno berupa fungsi atau persamaan. Setelah dilakukan inferensi fuzzy, akan diperoleh derajat keanggotaan nilai keluaran [9]. Pada penelitian ini defuzzifikasi yang digunakan adalah *weighted average*. Sehingga Nilai *crisp output* (z^*) ditentukan melalui rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Persamaan yang digunakan pada metode *weighted average* seperti yang terdapat pada persamaan berikut.

$$z^* = \frac{\sum \mu(z) \cdot z}{\sum \mu(z)} \quad (8)$$

2.5 Penerapan Sistem

Sistem Fuzzy Sugeno diterapkan pada Orange Pi Zero 2W di panel box sistem pendingin otomatis. Sistem akan berjalan secara *realtime* dengan pembaruan data selama satu menit sekali. Data masukan berasal dari detektor yang terletak di dalam kandang dan dikirimkan melalui koneksi WI-FI menuju panel box. Pada pompa, sistem kontrol akan berperan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa. Sedangkan untuk blower sistem kontrol akan mengatur persentase *pulse width modulation* pada masukan *Variable Frequency Drive*. Dari *Variable Frequency Drive* ini akan mengatur keluaran frekuensi dari motor blower, sehingga kecepatan blower dapat dikontrol.

2.6 Pengujian Sistem

Pengamatan akan dilakukan pada ayam broiler berusia 15-35 hari. Pada usia tersebut ayam broiler membutuhkan udara yang cenderung dingin sehingga memerlukan sistem pendingin. Parameter yang akan diamati dalam penelitian ini adalah suhu dan kelembaban kandang sebagai input dari sistem dan respon aktuator berupa kecepatan blower dan juga nyala atau mati pompa. Data kontrol fuzzy yang diterapkan dalam sistem yang bekerja secara *realtime*

akan di bandingkan dengan software simulasi MATLAB untuk mengetahui keandalan sistem kontrol. Parameter lain yang diamati untuk menentukan keberhasilan sistem dalam menyelesaikan heat stress pada kandang ayam Viarjaya adalah temperature humidity indeks yang dapat dihitung dari suhu dan kelembaban kandang, lalu indeks performance yang dapat dihitung dari parameter mortalitas ayam, berat panen, dan feed conversion ratio.

2.7 Pengumpulan Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan memantau database sistem pendingin dan juga dilakukan dengan kunjungan langsung ke kandang. Dalam database sistem pendingin, akan diperoleh data suhu, kelembaban, kondisi aktif atau tidaknya pompa dan kecepatan putaran blower. Dari data suhu dan kelembaban kemudian dapat dirumuskan nilai *Temperature-Humidity Index* pada kandang. Selain itu untuk mendapatkan data parameter mortalitas ayam, berat panen, dan *feed conversion rasio* akan digunakan data pada usia panen ayam yaitu pada usia 35 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil pengujian pada penelitian penerapan logika fuzzy dalam sistem pendingin otomatis pada kandang ayam broiler. Terdapat beberapa tahapan dalam pengujian sistem, sebelum implementasi fuzzy dilakukan pengambilan data rata-rata suhu dan kelembaban dalam setiap jam untuk nantinya dianalisa dan dibandingkan dengan suhu dan kelembaban setelah penerapan logika fuzzy. Selain itu dilakukan pengambilan data panen ayam broiler sebelum penerapan fuzzy yang akan dilakukan perbandingan dengan setelah penerapan logika fuzzy untuk mengetahui pengaruh sistem terhadap ayam broiler.

3.1 Analisis Logika Fuzzy dalam Sistem Pendingin

Logika fuzzy diujikan kedalam sistem selama 20 hari di sistem pendingin kandang ayam broiler *closed house*. Logika Fuzzy diaplikasikan pada Orange PI pada panel box dengan input suhu dan kelembaban dari detektor. Nilai output dari sistem akan dibandingkan dengan perhitungan dari Fuzzy Logic Toolbox pada MATLAB. Evaluasi performa dilakukan menggunakan tiga metrik utama, yaitu Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), dan R^2 Score, yang dihitung berdasarkan formula masing-masing.

Mean Absolute Error (MAE) dihitung untuk mengetahui rata-rata *error* yang terjadi dalam sistem ketika dibandingkan dengan logika fuzzy pada matlab yang menjadi acuan. Untuk menghitung MAE dilakukan dengan persamaan berikut.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (9)$$

Sementara RMSE menghitung akar dari rata-rata kuadrat kesalahan prediksi seperti pada persamaan berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (10)$$

Untuk melihat kemampuan model dalam menjelaskan data, digunakan R^2 Score yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (11)$$

Dimana y merupakan nilai dari acuan MATLAB, sedangkan x adalah nilai output dari sistem. Sedangkan $\bar{y}$ merupakan rata-rata nilai aktual yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

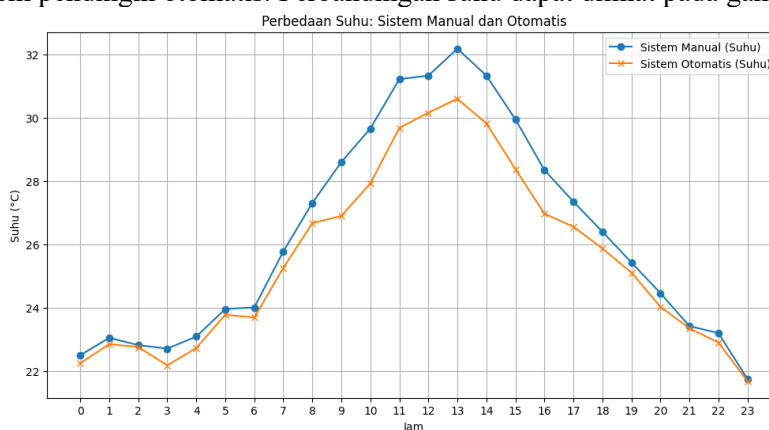
$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (12)$$

Pada penelitian ini, sistem kontrol blower dengan logika fuzzy menunjukkan hasil evaluasi yang sangat memuaskan, dengan MAE sebesar 1.475, RMSE sebesar 3.903, dan R^2 Score mencapai 0.988. Hasil ini menandakan bahwa prediksi sistem sangat mendekati nilai aktual yang dihitung menggunakan Fuzzy Logic Toolbox di MATLAB, dengan kesalahan yang sangat kecil.

Di sisi lain, untuk pengaturan pompa, MAE tercatat sangat rendah, hanya 0.037, yang berarti bahwa kesalahan prediksi sangat kecil. RMSE untuk pompa adalah 0.124, yang juga menunjukkan bahwa deviasi antara nilai prediksi dan nilai aktual sangat kecil. R^2 Score sebesar 0.923 menunjukkan bahwa model dapat menjelaskan 92.3% variasi data dengan sangat baik.

3.2 Analisis Suhu dalam Sistem Pendingin

Pengujian perubahan suhu dilakukan untuk membandingkan suhu kandang antara penggunaan sistem pendingin manual dan sistem pendingin otomatis dengan kontrol logika fuzzy. Data suhu pada sistem manual diambil dari periode sebelumnya. Detektor dipasang terlebih dahulu sebelum pemasangan panel box, yang sekaligus bertujuan untuk menguji ketahanan detektor. Data suhu yang diperoleh dari detektor dikirim langsung ke database melalui jaringan Wi-Fi kandang. Selanjutnya, data suhu ini dibandingkan dengan data suhu yang diperoleh setelah penerapan sistem pendingin otomatis. Perbandingan suhu dapat dilihat pada gambar berikut.



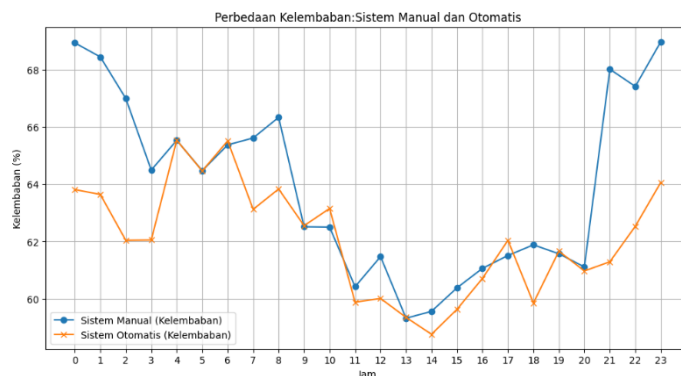
Gambar 6 Perbandingan suhu sistem manual dan otomatis

Berdasarkan gambar 10, terjadi penurunan suhu rata-rata setiap jam setelah penggunaan alat otomatis. Suhu setelah penerapan sistem otomatis cenderung lebih rendah dibandingkan dengan sistem manual. Kandang dengan sistem otomatis terbukti lebih nyaman bagi ayam, yang dibuktikan dengan jumlah waktu suhu rata-rata di luar zona nyaman yang lebih sedikit dibandingkan sistem manual. Pada sistem otomatis, suhu rata-rata yang tergolong kurang nyaman bagi ayam hanya terjadi pada pukul 11.00 hingga 15.00, ketika suhu mencapai nilai tertinggi. Sebaliknya, pada sistem manual, suhu rata-rata di luar zona nyaman berlangsung lebih lama, yaitu dari pukul 09.00 hingga 16.00.

3.3 Analisis Kelembaban dalam Sistem Pendingin

Pengujian perubahan kelembapan dilakukan untuk membandingkan kondisi kelembapan kandang sebelum dan sesudah penerapan sistem pendingin dengan kontrol logika fuzzy. Pengambilan data kelembapan sebelum penerapan sistem dilakukan melalui pemantauan menggunakan detektor.

Detektor dipasang terlebih dahulu sebelum pemasangan panel box, yang juga berfungsi untuk menguji ketahanan detektor. Pada periode ini, kontrol sistem pendingin masih dilakukan secara manual. Data kelembapan yang diperoleh dari detektor dikirimkan langsung ke database melalui jaringan Wi-Fi kandang. Data yang terkumpul kemudian dibandingkan dengan data kelembapan setelah penerapan sistem pendingin otomatis. Perbandingan kelembapan dapat dilihat pada gambar berikut.

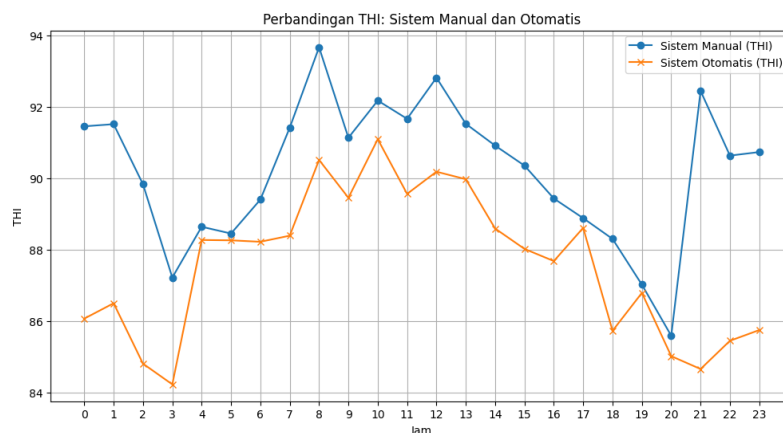


Gambar 7 Perbandingan kelembaban sistem manual dan otomatis

Dari gambar yang disajikan, terlihat bahwa sistem otomatis lebih efektif dalam menjaga kelembapan kandang pada tingkat yang stabil dan lebih rendah dibandingkan sistem manual. Jika dibandingkan dengan rentang kelembapan yang nyaman untuk ayam, yaitu antara 50-70%, dapat disimpulkan bahwa kelembapan pada kedua sistem sebagian besar berada dalam zona nyaman. Namun, sistem manual menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan cenderung mendekati batas atas zona nyaman, terutama pada malam hari. Sebagai contoh, pada pukul 21.00 hingga 23.00, kelembapan pada sistem manual mencapai 68,01% hingga 68,97%, yang mendekati batas maksimum zona nyaman. Sebaliknya, pada sistem otomatis, kelembapan pada periode yang sama lebih terkendali, yaitu 61,29% hingga 64,06%.

3.5 Analisis Temperature Humidity Indeks Kandang

Temperature-Humidity Index (THI) merupakan penjumlahan dari suhu dan kelembapan. THI dapat digunakan untuk analisis tingkat *heat stress* dari ayam broiler. Berikut merupakan perbandingan THI sistem manual dan otomatis.



Gambar 8 Perbandingan THI Sistem manual dan otomatis

Data *Temperature-Humidity Index* (THI) menunjukkan bahwa sistem otomatis secara konsisten lebih efektif dalam mengontrol kondisi termal kandang ayam broiler dibandingkan sistem manual. Pada malam hingga pagi hari (00.00–08.00), sistem otomatis mencatat THI lebih rendah, seperti pada pukul 00.00 dengan nilai 86,07 dibandingkan 91,45 pada sistem manual. Selama siang hari (09.00–15.00), sistem otomatis tetap menjaga THI lebih rendah, bahkan pada suhu puncak pukul 13.00, dengan nilai 89,97 dibandingkan 91,52 pada sistem manual. Tren ini berlanjut pada sore hingga malam hari (16.00–23.00), di mana sistem otomatis mencatat THI 85,75 pada pukul 23.00, lebih rendah dibandingkan 90,73 pada sistem manual. Secara keseluruhan, sistem otomatis terbukti lebih efektif dalam menurunkan THI, mengurangi risiko *heat stress*, dan menciptakan kondisi kandang yang lebih nyaman sepanjang hari.

Kondisi termal kandang ayam broiler dapat dibagi menjadi tiga kategori: aman, waspada, dan bahaya. Kategori aman mencerminkan kondisi yang nyaman bagi ayam broiler, dengan nilai

$THI \leq 87,7$. Kategori waspada menggambarkan kondisi yang berpotensi menimbulkan stres ringan pada ayam dengan nilai THI antara $87,7^{\circ}C$ hingga $97,7^{\circ}C$, tetapi masih dapat ditoleransi selama suhu dan kelembapan terkendali. Sementara itu, kategori bahaya menunjukkan kondisi yang sangat berisiko, dengan nilai $THI > 97,7$, yang dapat menyebabkan heat stress serius pada ayam, berisiko merugikan kesehatan dan produktivitasnya [10].

Tabel 6 Perbandingan presentase kategori THI

Sistem Manual		
No	Indikator	Presentase(%)
1	Aman	27,60
2	Waspada	70,66
3	Bahaya	1,74
Sistem Otomatis		
1	Aman	50,56
2	Waspada	48,16
3	Bahaya	1,28

Sebelum pemasangan sistem otomatis, hanya 27,60% waktu kandang berada dalam kategori aman, sementara 70,66% dalam kategori waspada dan 1,74% dalam kategori bahaya. Setelah pemasangan, kategori aman meningkat signifikan menjadi 50,56%, kategori waspada menurun menjadi 48,16%, dan kategori bahaya berkurang menjadi 1,28%. Perubahan ini menunjukkan bahwa sistem otomatis memberikan pengendalian lingkungan kandang yang lebih baik, menciptakan kondisi yang stabil dan nyaman bagi ayam broiler. Selain mengurangi risiko *heat stress*, sistem ini juga berdampak positif pada kesehatan ayam dan efisiensi produksi, menjadikannya solusi efektif untuk manajemen kandang modern.

3.6 Analisis Pengaruh Sistem Terhadap Hasil Panen Ayam Broiler

Dalam analisis ini, akan dibahas perubahan yang terjadi pada beberapa indikator penting, seperti mortalitas, tonase panen, konsumsi pakan, konversi pakan, dan indeks performa ayam, baik sebelum maupun setelah penerapan sistem otomatis. Data yang diperoleh diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai sejauh mana sistem ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan hasil produksi peternakan.

Tabel 7 Perbandingan populasi awal dan jumlah ayam panen

No	Indikator	Sistem Manual	Sistem Otomatis
1	Populasi Awal (ekor)	7500	7500
2	Jumlah Ayam Panen (ekor)	7184	7252
3	Deplesi (%)	4,21	3,31

Berdasarkan data yang disajikan, deplesi pada sistem manual sebesar 4,21% dan pada sistem otomatis sebesar 3,31%. Pada saat penelitian deplesi pada kandang dikarenakan kematian pada ayam. Sehingga nilai deplesi sama dengan nilai mortalitas ayam pada kandang. Dari data tersebut diketahui bahwa dari sistem manual ataupun otomatis cenderung masih dalam kategori yang masih aman karena tingkat mortalitas dibawah standar. Tingkat mortalitas pada kandang ayam yang baik adalah dibawah 5% [11]. Namun dengan adanya penurunan mortalitas tentunya akan menambah produktivitas peternakan.

Tabel 8 Perbandingan konversi pakan

No	Indikator	Sistem Manual	Sistem Otomatis
1	Berat panen (Ton)	14,41	15,60
2	Feed Intake (Ton)	21,65	22,85
3	FCR	1,50	1,46

Berat panen dan *Feed Intake* mengalami peningkatan dari 14,41 ton menjadi 15,60 ton untuk Berat panen dan untuk *Feed Intake* naik dari 21,65 ton menjadi 22,85 ton. Peningkatan terjadi karena nilai mortalitas menurun dan dalam kondisi yang nyaman ayam lebih aktif untuk beraktifitas dan cenderung lebih banyak makan. Dengan meningkatnya jumlah *Feed Intake* namun nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) justru mengalami penurunan dari 1,50 menjadi 1,46, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi dalam penggunaan pakan, di mana ayam dapat mengubah pakan menjadi bobot tubuh dengan lebih efisien.

Dengan parameter deplesi, berat panen, FCR dan umur panen, Indeks Performa ayam dapat dihitung dengan Persamaan **Error! Reference source not found.** Dimana nilai rata-rata bobot panen dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$\text{Rata – rata bobot panen (kg)} = \frac{\text{Berat Panen (kg)}}{\text{Jumlah Ayam Panen}} \quad (13)$$

Sehingga dapat dihitung untuk sistem manual memiliki rata-rata bobot panen sebesar 2,01 kg dan untuk sistem manual sebesar 2,15 kg. Jika dimasukkan dalam perhitungan persamaan *Indeks Performance* (IP) didapatkan nilai IP untuk sistem manual sebesar 3,66 atau digolongkan dalam kategori sangat baik sedangkan untuk IP sistem otomatis sebesar 4,06 dengan kategori istimewa.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa implementasi sistem pendingin kandang ayam broiler closed house dengan kontrol logika fuzzy memberikan performa yang sangat baik. Sistem ini menunjukkan akurasi prediksi tinggi dengan MAE dan RMSE rendah serta R² Score mendekati 1, baik untuk kontrol blower maupun pompa. Dibandingkan dengan sistem manual, sistem otomatis lebih efektif menjaga suhu dan kelembapan kandang, terbukti dengan suhu rata-rata yang lebih rendah dan kestabilan kelembapan yang lebih baik. Sistem otomatis juga berhasil mengurangi durasi suhu di luar zona nyaman, fluktuasi ekstrem, dan potensi heat stress, meningkatkan persentase kategori aman Temperature-Humidity Index dari 27,60% menjadi 50,56%. Dampak positif lainnya adalah peningkatan indeks performa peternakan dari 366 menjadi 406, menunjukkan kontribusi signifikan terhadap kenyamanan ayam dan produktivitas peternakan.

5. SARAN

Penelitian ini memiliki potensi untuk disempurnakan melalui beberapa saran. Penambahan variabel input amonia sebagai salah satu parameter kontrol sangat disarankan, mengingat kadar amonia yang tinggi dapat membahayakan kesehatan ayam. Selain itu, penggunaan sensor untuk mengukur kecepatan putaran blower dapat memberikan feedback real-time, sehingga sistem dapat mengontrol sirkulasi udara dengan lebih efisien. Penggunaan logika kontrol berbasis Machine Learning atau AI juga layak diteliti untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam menghadapi anomali cuaca dan menyesuaikan kondisi kandang secara dinamis dan responsif. Selanjutnya, penelitian ini dapat diperluas ke kandang ayam dengan kondisi geografis berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih bervariasi terkait pengendalian suhu dan kelembapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Produksi Ayam ras Pedaging menurut Provinsi,” Peternakan. Diakses: 21 April 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/indicator/24/478/1/populasi-ayam-ras-pedaging-menurut-provinsi.html>
- [2] M. Czarick dan B. D. Fairchild, “Poultry Housing for Hot Climates,” *Poult. Prod. hot Clim.*, vol. 1, no. 2, hal. 80–131, 2008.
- [3] C. G. N. Putra, R. Maulana, dan H. Fitriyah, “Otomasi Kandang Dalam Rangka Meminimalisir Heat Stress Pada Ayam Broiler Dengan Metode Naive Bayes,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 1, hal. 387–394, 2018.
- [4] A. N. Handayani, H. Elmunsyah, dan D. Rosita, *Modul Ajar Fuzzy*. Ahlimedia Press, 2020.
- [5] A. A. Kasim, R. Maulana, dan G. E. Setyawan, “Implementasi Otomasi Kandang dalam Rangka Meminimalisir Heat Stress pada Ayam Broiler,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 2, hal. 1403–1410, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [6] A. G. Salman, “Pemodelan Dasar Sistem Fuzzy.” [Daring]. Tersedia pada: <https://socs.binus.ac.id/2012/03/02/pemodelan-dasar-sistem-fuzzy/>
- [7] S. Kusumadewi, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*, 2 ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [8] Trivusi, “Perbedaan Fuzzy Inference System: Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto.” Diakses: 28 April 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.trivusi.web.id/2022/10/metode-inferensi-fuzzy.html>
- [9] Y. S. Fono, A. B. Setiawan, dan D. C. Permatasari, “Penerapan Metode Fuzzy Logic Terhadap Suhu dan Kelembaban Tanah Pada Monitoring Bunga Krisan,” *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 3, hal. 235–243, 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i3.400.
- [10] Medion, “Heat Stress.” Diakses: 1 April 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.medion.co.id/heat-stress/>
- [11] R. Siaga, J. Jimu Baloy, M. Daniel Ram, dan K. Benyi, “Effects of Stocking Density and Genotype on the Growth Performance of Male and Female Broiler Chickens,” *Asian J. Poult. Sci.*, vol. 11, no. 2, hal. 96–104, 2017, doi: 10.3923/ajpsaj.2017.96.104.