Jurnal Informatika Vol. 15, No. 1, Juni 2026, Page. 179~192
E-ISSN: 2528-0090 https://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JIU
P-ISSN: 2252-9160 DOI: https://doi.org/10.55340/jiu.v15i1.2741

Sistem Kontrol Pertumbuhan Tanaman Cabai Pada Greenhouse Berbasis *Internet of Things* (IoT) Dengan *Decision Tree* C5 Dan Protokol Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS)

Chili Plant Growth Control System in a Greenhouse Based on *Internet of Things* (IoT) Using *Decision Tree* C5 and Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS)

Isnawaty*[1], Ni Wayan Erdiani[2], Achmad Nur Aliansyah[3], L.M. Fid Aksara[4], Sutardi[5], Ryan Rinaldi Hadistio[6]
[1,2,4,5,6]Jurusan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
[3]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Jalan H.E.A. Mokodompit, Kendari, Sulawesi Tenggara
Email: *[1]isnawaty@uho.ac.id

Article Info:	Received	Revised	Accepted	Published:
	13 Juni 2026	13 Juni 2026	22 Juni 2026	25 Juni 2026

Abstrak

Tanaman cabai merupakan komoditas hortikultura yang pertumbuhannya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah, dan intensitas cahaya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Decision Tree C5 dan protokol Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS). Metode Decision Tree C5 diterapkan untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan greenhouse ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk berdasarkan data sensor yang diperoleh. Data penelitian dikumpulkan selama 20 hari dengan frekuensi pengamatan tiga kali sehari sehingga diperoleh 60 data pengamatan. Dataset kemudian dibagi menggunakan metode hold-out dengan rasio 80:20, yaitu 48 data sebagai data latih dan 12 data sebagai data uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode Decision Tree C5 memperoleh nilai Accuracy sebesar 91,67%, Balanced Accuracy sebesar 66,67%, dan Macro F1-Score sebesar 65,08% berdasarkan evaluasi confusion matrix. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu melakukan klasifikasi kondisi lingkungan greenhouse dengan baik, namun performa klasifikasi belum sepenuhnya merata pada setiap kelas akibat adanya ketidakseimbangan distribusi data. Selain itu, pengujian Quality of Service (QoS) pada komunikasi data berbasis HTTPS menunjukkan nilai delay sebesar 9,00 ms, throughput sebesar 1500,00 kbps, packet loss sebesar 2,03%, dan jitter sebesar 0,50 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendukung proses monitoring dan pengendalian kondisi greenhouse secara real-time melalui aplikasi Android. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan berpotensi mendukung pengelolaan linguae greenhouse yang lebih stabil serta membantu menjaga kondisi lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman cabai melalui sistem monitoring dan pengendalian otomatis berbasis IoT.

Kata Kunci: *Decision Tree C5, Greenhouse, Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS), Internet of Things (IoT), Tanaman Cabai.*

Jurnal Informatika Vol. 15, No. 1, Juni 2026, Page. 179~192
E-ISSN: 2528-0090 https://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JIU
P-ISSN: 2252-9160 DOI: https://doi.org/10.55340/jiu.v15i1.2741

Abstract

Chili plants are a horticultural commodity whose growth is influenced by environmental conditions such as air temperature, air humidity, soil moisture, soil pH, and light intensity. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based greenhouse monitoring and control system using the Decision Tree C5 method and the Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) protocol. The Decision Tree C5 method is applied to classify greenhouse environmental conditions into three categories: good, moderate, and poor, based on the collected sensor data. The research data were collected over 20 days with three observations per day, resulting in a total of 60 observation data. The dataset was divided using the hold-out method with an 80:20 ratio, consisting of 48 training data and 12 testing data. The testing results show that the Decision Tree C5 method achieved an Accuracy of 91.67%, Balanced Accuracy of 66.67%, and Macro F1-Score of 65.08% based on the confusion matrix evaluation. These results indicate that the model is capable of classifying greenhouse environmental conditions well; however, the classification performance is not yet evenly distributed across all classes due to an imbalance in data distribution. Furthermore, the Quality of Service (QoS) testing on HTTPS-based data communication resulted in a delay of 9.00 ms, throughput of 1500.00 kbps, packet loss of 2.03%, and jitter of 0.50 ms. These results demonstrate that the system is capable of supporting real-time greenhouse monitoring and control through an Android application. Therefore, the developed system has the potential to support more stable greenhouse environmental management and maintain suitable conditions for chili plant growth through an IoT-based automated monitoring and control system.

Keywords: *Decision Tree C5, Greenhouse, Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS), Internet (IoT), Chili Plant.*

This is an open access article under the CC BY-SA license.

1. PENDAHULUAN

Cabai merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi dengan permintaan pasar yang relatif stabil sepanjang tahun[1]. Produktivitas tanaman cabai dipengaruhi oleh suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah, dan intensitas cahaya[2]. Ketidaksesuaian parameter tersebut dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, menurunkan kualitas hasil panen, bahkan menyebabkan kegagalan produksi [3]. Pada budidaya konvensional, pemantauan dan pengendalian lingkungan masih dilakukan secara manual sehingga kurang mampu merespons perubahan kondisi secara cepat dan akurat[4]. Penggunaan greenhouse menjadi solusi untuk menciptakan lingkungan tumbuh yang lebih terkontrol sehingga pertumbuhan tanaman dapat berlangsung lebih optimal[5]. Namun, pengelolaan greenhouse secara manual masih memerlukan pengawasan yang intensif[6]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring dan pengendalian otomatis yang mampu bekerja secara real-time untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan tanaman [7].

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan sensor dan aktuator terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pengumpulan, pengiriman, dan pengolahan data secara real-time [8]. Pada *greenhouse* tanaman cabai, sensor seperti DHT22, sensor kelembaban tanah, sensor pH tanah, dan sensor intensitas cahaya dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan secara berkelanjutan [9]. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendukung pengambilan keputusan dan pengendalian lingkungan secara otomatis [10].

Penelitian ini menerapkan metode Decision Tree C5 untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan greenhouse berdasarkan data suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah,

dan intensitas cahaya ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk [11], [12]. Hasil klasifikasi digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan, sedangkan pengendalian aktuator seperti kipas, pompa air, dan lampu tumbuh dilakukan berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditetapkan [13]. Selain itu, penelitian ini menerapkan protokol Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) untuk meningkatkan keamanan komunikasi data antara perangkat IoT dan server [14], [15]. Penggunaan HTTPS juga mendukung integrasi dengan aplikasi berbasis web sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time [16].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem greenhouse berbasis IoT untuk memantau kondisi lingkungan tanaman secara real-time [18]. Penerapan metode machine learning seperti Decision Tree juga telah digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan pada sektor pertanian [19]. Namun, penelitian sebelumnya umumnya masih berfokus pada monitoring atau prediksi parameter tertentu dan belum mengintegrasikan klasifikasi kondisi lingkungan menggunakan Decision Tree C5 dengan sistem kontrol otomatis berbasis IoT serta komunikasi data yang aman menggunakan HTTPS [20]. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan sistem monitoring dan kontrol *greenhouse* tanaman cabai berbasis IoT yang mengintegrasikan metode *Decision Tree C5* untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan menjadi kategori baik, sedang, dan buruk, serta menerapkan protokol HTTPS untuk meningkatkan keamanan komunikasi data antara perangkat dan aplikasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem kontrol dan monitoring pertumbuhan tanaman cabai pada *greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *Decision Tree* C5 dan protokol *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS). Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu menjaga kestabilan kondisi lingkungan *greenhouse* secara otomatis, meningkatkan efisiensi pengelolaan tanaman, serta membantu mendukung produktivitas pertanian yang lebih optimal [17].

2. METODE

Metode *Four-D* digunakan dalam pengembangan sistem kontrol pertumbuhan tanaman cabai pada greenhouse berbasis IoT menggunakan algoritma Decision Tree C5 dan protokol HTTPS. Tahap Define dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem melalui studi literatur, konsultasi, dan observasi[18]. Tahap Design meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan[19]. Tahap Develop mencakup implementasi algoritma, pemrograman sistem, serta pengujian kinerja secara otomatis dan real-time[20]. Tahap Disseminate dilakukan melalui uji coba prototipe untuk memastikan sistem monitoring dan pengendalian dapat berfungsi sesuai perancanga[21].

2.1 *Decision Tree*

Decision Tree merupakan metode klasifikasi berbentuk pohon yang terdiri dari root node, internal node, dan leaf node[22]. Root node merupakan node awal, internal node berfungsi sebagai percabangan atribut, sedangkan leaf node menunjukkan hasil keputusan[23]. Pada penelitian ini, algoritma *Decision Tree* C5 digunakan untuk menentukan kondisi tanaman cabai sebagai dasar pengendalian aktuator secara otomatis[24].Algoritma C5 merupakan pengembangan dari algoritma C4.5 yang memiliki keunggulan dalam kecepatan proses, efisiensi memori, dan akurasi klasifikasi [25].

Algoritma C5 merupakan pengembangan dari algoritma C4.5 yang diperkenalkan oleh Quinlan. Algoritma ini menggunakan konsep entropy, information gain, dan gain ratio untuk menentukan atribut terbaik dalam pembentukan pohon keputusan. Dibandingkan C4.5, C5 memiliki kemampuan klasifikasi yang lebih cepat, penggunaan memori yang lebih efisien, serta mendukung proses pruning yang lebih baik untuk meningkatkan akurasi model [26], [27].

Pemilihan atribut terbaik dilakukan berdasarkan nilai Gain Ratio tertinggi. Entropy digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian data dengan rumus:

$$Entropy(S) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

Keterangan:
S = himpunan data
p_i = proporsi data tiap kelas
n = jumlah kelas

Information Gain digunakan untuk mengukur pengurangan entropy setelah data dibagi berdasarkan atribut tertentu dengan rumus:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in Values(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (2)$$

A = atribut
S_v = subset data
|S_v| = jumlah data subset
|S| = jumlah total data

Split Information digunakan untuk mengukur pembagian data berdasarkan atribut tertentu dengan rumus:

$$SplitInfo(A) = -\sum_{v \in Values(A)} \frac{|S_v|}{|S|} \log_2\left(\frac{|S_v|}{|S|}\right) \quad (3)$$

Gain Ratio digunakan untuk menentukan atribut terbaik dalam pembentukan pohon keputusan dengan rumus:

$$GainRatio = \frac{Gain(S, A)}{SplitInfo(A)} \quad (4)$$

2.2 Pengujian Sistem

Algoritma Decision Tree C5 digunakan untuk menentukan kondisi tanaman berdasarkan parameter suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, pH tanah, dan intensitas cahaya. Pembentukan model dilakukan melalui perhitungan entropy, information gain, split information, dan gain ratio untuk menentukan atribut terbaik sebagai root node.

Pengujian algoritma Decision Tree C5 dilakukan menggunakan data hasil pembacaan sensor suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, kelembaban tanah, dan pH tanah pada sistem greenhouse berbasis IoT. Data dikumpulkan selama 20 hari dengan frekuensi pengukuran tiga kali sehari, yaitu pukul 08.00 WIB, 13.00 WIB, dan 16.00 WIB, sehingga diperoleh 60 data pengamatan. Dataset kemudian dibagi menggunakan metode hold-out dengan rasio 80:20, yaitu 48 data sebagai data latih dan 12 data sebagai data uji untuk mengevaluasi performa model.

Tabel 1. *Treshold* Variabel Kondisi Lingkungan Cabai

No	Variabel	Kondisi Lingkungan	Parameter
1	Suhu	Rendah	<25°C
		Normal	25°C - 30°C
		Tinggi	>30°C
2	Kelembaban Udara	Rendah	<60%
		Normal	60% - 80%
		Tinggi	>80%
3	Kelembaban Tanah	Kering	<40%
		Lembab	40% - 70%
		Basah	>70%
4	pH Tanah	Asam	0-6
		Netral	6-7
		Basah	7-14
5	Intensitas Cahaya	Rendah	<5000 lux
		Normal	5000 - 10000 lux
		Tinggi	>10000 lux

Berdasarkan Tabel 1, data hasil pembacaan sensor dikelompokkan ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk berdasarkan nilai threshold setiap parameter lingkungan yang merepresentasikan kondisi pertumbuhan tanaman cabai.

Dataset uji hasil pengamatan terdiri dari 12 data yang diperoleh dari pembagian dataset dengan rasio 80:20. Data uji digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model Decision Tree C5 dalam melakukan klasifikasi kondisi lingkungan tanaman cabai.

Tabel 2. Dataset Uji

Suhu	Kelembaban	Cahaya	Tanah	pH	Kondisi
29.4	84	5000	62	6.50	SEDANG
32.8	78	8100	60	6.40	SEDANG
31.7	81	5900	53	6.30	SEDANG
29.1	86	4950	58	6.20	SEDANG
33.3	75	8200	55	6.10	SEDANG
32.2	79	6000	50	6.20	SEDANG
28.9	87	5000	61	6.40	SEDANG
32.6	78	8100	59	6.30	SEDANG
31.5	82	5200	55	6.20	SEDANG
29.2	85	5050	57	6.30	SEDANG
33.1	76	8300	56	5.90	BURUK
32.0	80	5300	50	6.10	SEDANG

Berdasarkan Tabel 2, data uji yang digunakan berjumlah 12 data pengamatan. Data tersebut digunakan untuk menguji performa model Decision Tree C5 melalui confusion matrix dengan menghitung nilai accuracy, precision, recall, dan F1-score.

Tabel 1. Data Latih

Suhu	Kelembaban	Cahaya	Tanah	pH	Kondisi
29.5	88	5230	75	6.71	SEDANG
31.8	84	7350	69	6.33	SEDANG

32.2	83	5200	68	6.50	SEDANG
28.6	88	5100	65	6.40	SEDANG
32.5	79	7420	62	7.20	SEDANG
33.1	78	5300	62	6.80	SEDANG
29.4	88	4950	63	6.40	SEDANG
31.9	78	7600	61	6.30	SEDANG
32.4	79	5400	62	6.10	SEDANG
29.6	87	5050	62	6.30	SEDANG
32.8	80	7800	60	7.10	SEDANG
33.0	81	5500	61	6.10	SEDANG
29.2	85	5000	55	6.50	BAIK
32.6	78	7900	38	6.40	BURUK
31.8	80	5600	45	6.30	SEDANG
28.9	87	4900	52	6.20	BAIK
33.2	75	8000	55	6.10	SEDANG
32.5	78	5700	50	6.20	SEDANG
29.5	86	5200	60	6.40	BAIK
32.8	77	8100	58	6.30	SEDANG
31.9	79	5800	50	6.20	SEDANG
28.7	88	5000	57	6.30	BAIK
33.0	76	8200	39	5.90	BURUK
32.2	80	5900	44	6.10	SEDANG
29.1	85	5050	62	6.50	BAIK
32.7	78	8300	60	6.40	SEDANG
31.5	81	6000	55	6.30	SEDANG
29.0	86	5000	58	6.30	SEDANG
33.3	74	8350	57	6.10	SEDANG
32.4	79	5200	50	6.20	SEDANG
29.1	85	5050	60	6.40	SEDANG
32.9	77	8250	59	7.30	SEDANG
31.7	80	5300	52	6.20	SEDANG
29.3	84	5100	56	6.30	SEDANG
33.1	76	8200	38	6.20	BURUK
32.0	79	5400	45	6.10	SEDANG
28.9	87	5000	63	6.50	SEDANG
32.6	78	8100	61	6.40	SEDANG
31.4	82	5500	54	6.30	SEDANG
29.2	85	4950	57	6.20	SEDANG
33.4	75	8350	56	5.80	BURUK
32.3	79	5600	50	6.10	SEDANG
29.0	86	5000	60	6.40	SEDANG
32.7	77	8200	58	6.30	SEDANG
31.6	80	5700	50	6.20	SEDANG
28.8	88	5050	55	6.30	SEDANG
33.2	76	8300	37	6.20	BURUK
32.1	79	5800	45	6.10	SEDANG

Berdasarkan Tabel 3, data latih digunakan untuk membentuk model Decision Tree C5 berdasarkan nilai gain ratio. Evaluasi model dilakukan menggunakan confusion matrix pada 12 data uji dengan parameter accuracy, precision, recall, dan F1-score.

Confusion Matrix digunakan untuk mengevaluasi kinerja model berdasarkan perbandingan hasil prediksi dan kelas sebenarnya melalui nilai True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), dan False Negative (FN).

Dari nilai-nilai tersebut, dapat dihitung beberapa metrik evaluasi sebagai berikut:

a. Akurasi (*Accuracy*)
Menggambarkan tingkat ketepatan keseluruhan prediksi.

$$Akurasi = \frac{\text{TP+TN}}{TP+TN+FP+FN} \quad (6)$$

b. Presisi (*Precision*)
Mengukur tingkat akurasi model dalam memprediksi kelas positif

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \quad (7)$$

c. *Recall* (*Sensitivity/True Positive Rate*)
Menggukur kemampuan model menentukan semua data positif yang benar.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

d. F1-Score
Merupakan rata-rata harmonik dari presisi dan *reccal*, yang berguna pada dateset tidak seimbang.

$$F1 = \frac{2X\ (Presisi\ x\ Recall)}{Precision+Recall} \quad (9)$$

Confusion Matrix sangat penting untuk mengetahui sejauh mana algoritma Decision Tree C5 mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan greenhouse tanaman cabai ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk secara tepat. Selain akurasi, evaluasi juga mempertimbangkan keseimbangan antara precision dan recall pada setiap kelas.

2.3 *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS)

Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) merupakan pengembangan dari HTTP yang menggunakan *Transport Layer Security* (TLS) untuk menjamin keamanan komunikasi data melalui enkripsi, autentikasi, dan integritas data. Dalam sistem Internet of Things (IoT), HTTPS digunakan untuk melindungi data sensor yang dikirimkan dari perangkat ke server sehingga tetap aman dan terpercaya.

Quality of Service (QoS) merupakan metode untuk mengevaluasi kualitas layanan jaringan berdasarkan kemampuan jaringan dalam mengirimkan data secara cepat, stabil, dan andal. Pada penelitian ini, evaluasi QoS dilakukan menggunakan parameter *delay, throughput, packet loss*, dan *jitter*.

a. *Delay* adalah waktu yang dibutuhkan paket data untuk mencapai tujuan dari pengirim dan diukur dalam satuan milidetik (ms).

$$\text{Rata} - \text{rata}\ Delay = \frac{Total\ Delay}{\text{Total Paket Diterima}} \quad (10)$$

b. *Throughput* merupakan jumlah data yang berhasil diterima dalam satuan waktu tertentu dan digunakan untuk menunjukkan kapasitas transfer data jaringan.

$$Throughput = \frac{Jumlah\ Data\ Diterima}{\text{Waktu Pengiriman}} \quad (11)$$

c. *Packet Loss* adalah persentase paket data yang gagal diterima selama proses transmisi.

$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{Paket dikirim} - \text{Paket diterima}}{Paket\ Dikirim} X\ 100\% \quad (12)$$

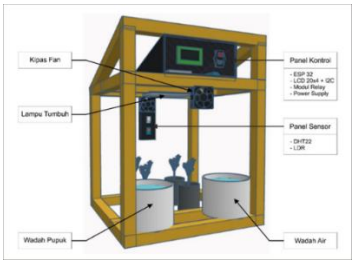
d. *Jitter* merupakan variasi *Delay* antar paket data yang diterima secara berurutan dan digunakan untuk mengukur kestabilan jaringan.

$$Jitter = \frac{\text{Total variasi } Delay}{Total\ Paket\ Diterima} \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil perancangan membangun sistem kontrol pertumbuhan tanaman cabai berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan *Decision Tree* dan protokol HTTPS yang dikembangkan berdasarkan tahapan-tahapan yang telah dijelaskan pada metode penelitian.

3.1 Perancangan Alat



Gambar 1. Desain *Mockup*

Gambar 1, menunjukkan rancangan greenhouse mini berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama. Sistem dilengkapi sensor DHT22 dan LDR untuk memantau kondisi lingkungan, serta LCD 20x4 untuk menampilkan data monitoring. Pengendalian kondisi greenhouse dilakukan secara otomatis melalui kipas fan dan lampu tumbuh guna menjaga lingkungan tanaman tetap optimal.

3.2 Hasil Pengujian

3.2.1 Pengujian Sistem

Algoritma Decision Tree C5 digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan *greenhouse* berdasarkan parameter suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, pH tanah, dan intensitas cahaya. Pembentukan model dilakukan menggunakan data latih melalui perhitungan entropy, information gain, split information, dan gain ratio untuk menentukan atribut terbaik sebagai root node.

Data latih yang digunakan berjumlah 48 data yang digunakan untuk membangun model Decision Tree C5 melalui proses perhitungan entropy, information gain, split information, dan gain ratio. Dengan distribusi kelas yang dapat di lihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Distribusi Kelas Data Latih

Kondisi	Jumlah
Baik	5
Sedang	38
Buruk	5
Total	**48**

a. Perhitungan *Entropy* Awal dan *Gain Ratio* Setiap Atribut

Entropy awal digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian data sebelum pemisahan atribut, dengan nilai sebesar 0,946. Selanjutnya, Gain Ratio dihitung pada setiap atribut untuk menentukan atribut terbaik sebagai root node dalam pembentukan Decision Tree C5. Hasil perhitungan Gain Ratio setiap atribut disajikan pada Tabel 5.

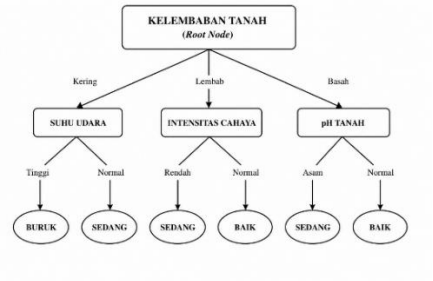
Tabel 5. Hasil perhitungan Gain Ratio

Atribut	Gain	Split Info	Gain Ratio
Suhu	0.231	0.918	0.252
Kelembaban Udara	0.211	0.989	0.214

Kelembaban Tanah	0.343	0.557	0.616
pH Tanah	0.167	0.583	0.286
Intensitas Cahaya	0.027	0.337	0.079

b. Penentuan *Root Node* dan Hasil Akhir Pohon Keputusan

Berdasarkan hasil Gain Ratio, atribut kelembaban tanah dipilih sebagai root node karena memiliki nilai tertinggi (0,616). Pohon keputusan yang terbentuk menggunakan suhu udara pada kategori kering, intensitas cahaya pada kategori lembab, dan pH tanah pada kategori basah untuk menentukan kondisi lingkungan. Hasil ini menunjukkan bahwa kelembaban tanah merupakan faktor utama dalam klasifikasi kondisi lingkungan greenhouse tanaman cabai.



Gambar 2 Hasil Akhir Pohon Keputusan

Berdasarkan Gambar 2, algoritma Decision Tree C5 menggunakan atribut kelembaban tanah sebagai root node karena memiliki nilai Gain Ratio tertinggi. Atribut ini diklasifikasikan ke dalam kategori kering, lembab, dan basah. Selanjutnya, atribut suhu udara, intensitas cahaya, dan pH tanah digunakan pada masing-masing kategori untuk menentukan kondisi lingkungan greenhouse tanaman cabai. Pohon keputusan yang terbentuk menghasilkan aturan klasifikasi kondisi lingkungan.

c. *Confusion matrix* Hasil Pengujian Model

Pengujian model dilakukan menggunakan *confusion matrix* untuk mengetahui performa klasifikasi metode *Decision Tree* C5 terhadap data uji yang digunakan. Hasil *confusion matrix* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. *Confusion matrix* Hasil Klasifikasi *Decision Tree* C5

Aktual \ Prediksi	BAIK	BURUK	SEDANG
BAIK	0	0	1
BURUK	0	1	0
SEDANG	0	0	10

Berdasarkan hasil *confusion matrix* pada Tabel 6, dilakukan perhitungan nilai *precision*, recall, dan F1-score untuk masing-masing kelas dapat di lihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Precision, Recall, dan F1-Score*

Kelas	Precision	Recall	F1-Score
BAIK	0,0000	0,0000	0,0000
BURUK	1,0000	1,0000	1,0000
SEDANG	0,9091	1,0000	0,9524

Hasil perhitungan nilai *precision, recall*, dan *F1-score* tersebut menunjukkan bahwa model *Decision Tree* C5 yang diterapkan pada sistem *greenhouse* berbasis *Internet of Things* mampu melakukan klasifikasi kondisi lingkungan tanaman cabai dengan tingkat akurasi sebesar 91,67%.

Tabel 8. Hasil Evaluasi Model Decision Tree C5

Metrik	Nilai
Accuracy	91,67%
Balanced Accuracy	66,67%
Macro F1-Score	65,08%

Jurnal Informatika Vol. 15, No. 1, Juni 2026, Page. 179~192
E-ISSN: 2528-0090 https://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JIU
P-ISSN: 2252-9160 DOI: https://doi.org/10.55340/jiu.v15i1.2741

Berdasarkan Tabel 8, model Decision Tree C5 memperoleh nilai Accuracy sebesar 91,67%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar data uji berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh model. Namun, akurasi yang tinggi belum tentu menggambarkan kemampuan model secara menyeluruh, terutama pada dataset yang memiliki distribusi kelas tidak seimbang.

Untuk memperoleh evaluasi yang lebih representatif digunakan metrik Balanced Accuracy dan Macro F1-Score. Hasil pengujian menunjukkan nilai Balanced Accuracy sebesar 66,67% dan Macro F1-Score sebesar 65,08%. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan nilai Accuracy karena kedua metrik tersebut memperhitungkan performa model pada setiap kelas secara seimbang tanpa dipengaruhi oleh dominasi kelas mayoritas.

Tabel 9. Distribusi Kelas Dataset

Kelas	Jumlah Data	Persentase
Baik	5	8,33%
Sedang	52	86,67%
Buruk	3	5,00%
Total	60	100%

Berdasarkan Tabel 9, distribusi data menunjukkan adanya ketidakseimbangan kelas (class imbalance), dimana kelas Sedang mendominasi dataset sebanyak 52 data (86,67%), sedangkan kelas Baik hanya berjumlah 5 data (8,33%) dan kelas Buruk hanya berjumlah 3 data (5,00%). Kondisi tersebut menyebabkan model lebih banyak mempelajari pola dari kelas Sedang dibandingkan kelas lainnya.

Ketidak seimbangan data memengaruhi kemampuan model dalam mengenali kelas minoritas. Hal ini terlihat dari nilai Balanced Accuracy dan Macro F1-Score yang lebih rendah dibandingkan Accuracy, sehingga menunjukkan bahwa performa model belum merata pada seluruh kelas. Oleh karena itu, evaluasi model perlu mempertimbangkan metrik selain Accuracy untuk memberikan gambaran performa yang lebih representatif.

3.3 Pengujian pertumbuhan tanaman

Pengujian pertumbuhan tanaman selama 20 hari menunjukkan bahwa tanaman dengan kondisi lingkungan yang terkontrol memiliki pertumbuhan lebih baik dibandingkan tanaman yang tidak terkontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH tanah mendukung pertumbuhan tanaman cabai yang lebih baik dibandingkan kondisi tanpa pengendalian otomatis.

Tabel 10. Pengujian pertumbuhan tanaman

No	Parameter Pengamatan	Tanaman Terkontrol	Tanaman Tidak Terkontrol	Keterangan
1	Tinggi Tanaman	 Lebih tinggi dan tegak Tinggi tanaman: 24,5	 Lebih pendek dan beberapa batang miring Tinggi tanaman: 18,2	Pertumbuhan tanaman terkontrol lebih baik, Kontrol lingkungan membantu pertumbuhan
2	Jumlah Daun			Pertumbuhan vegetatif lebih optimal, Kondisi nutrisi dan

	Daun lebih banyak, Hijau segar Jumlah Daun (helai) : 12	Daun lebih sedikit, Sebagian pucat dan kurang segar Jumlah Daun (helai) : 6	air lebih stabil

Berdasarkan Tabel 10, tanaman cabai yang dibudidayakan menggunakan sistem greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tanaman tanpa pengendalian otomatis. Pada hari ke-20 pengamatan, tinggi tanaman terkontrol mencapai 24,5 cm, sedangkan tanaman tidak terkontrol hanya mencapai 18,2 cm. Selain itu, jumlah daun pada tanaman terkontrol sebanyak 12 helai, lebih tinggi dibandingkan tanaman tidak terkontrol yang hanya memiliki 6 helai daun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengendalian suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH tanah secara otomatis mampu menciptakan kondisi lingkungan yang lebih baik bagi pertumbuhan tanaman cabai.

Pada penelitian ini, tanaman terkontrol merupakan tanaman cabai yang pertumbuhannya dikendalikan berdasarkan kondisi lingkungan, meliputi suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH tanah, sehingga pertumbuhan tanaman dapat berlangsung lebih optimal. Sementara itu, tanaman tidak terkontrol merupakan tanaman cabai yang pertumbuhannya tidak dikendalikan berdasarkan parameter lingkungan tersebut, sehingga pertumbuhan tanaman cenderung kurang optimal dibandingkan tanaman terkontrol.

3.4 Pengujian *Quality of Service* (QoS)

Pengujian *Quality of Service* (QoS) dilakukan dengan mengukur parameter delay, throughput, packet loss, dan jitter. Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan standar TIPHON untuk mengetahui kualitas layanan jaringan. Setiap parameter dikategorikan berdasarkan klasifikasi TIPHON seperti sangat baik, baik, cukup, dan buruk.

a. Pengujian *Delay*

Pengujian delay dilakukan untuk mengukur waktu tunda transmisi data dari perangkat ke sistem monitoring. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 11 dan dihitung menggunakan Persamaan (10).

Tabel 11. Pengujian *Delay*

No	Paket Diterima	Total Delay (ms)	Delay Rata-rata (ms)	Kategori TIPHON
1	3.429	30.877	9,00	Sangat Bagus
2	4.405	52.865	12,00	Sangat Bagus
3	15.481	44.045	2,84	Sangat Bagus
4	8.732	25.322	2,90	Sangat Bagus
5	12.564	39.573	3,15	Sangat Bagus

b. Pengujian *Throughput*

Pengujian throughput dilakukan untuk mengukur kemampuan sistem dalam mentransmisikan data selama interval waktu tertentu. Hasil pengujian throughput disajikan pada Tabel 12, sedangkan perhitungan nilai throughput dilakukan menggunakan Persamaan (11).

Tabel 12. Pengujian *Throughput*

No	Total Paket Diterima (kb)	Waktu Pengamatan (detik)	Throughput (kbps)	Kategori
1	46.316	30,877	1500,00	Bagus
2	79.298	52,865	1500,00	Bagus
3	66.068	44,045	1500,00	Bagus
4	43.047	25,322	1700,00	Bagus
5	67.274	39,573	1700,00	Bagus

c. Pengujian *Packet Lost*

Pengujian *packet loss* dilakukan untuk mengetahui persentase paket data yang hilang selama transmisi data pada sistem. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 13 dan dihitung menggunakan Persamaan (12).

Tabel 13. Pengujian *Packet Lost*

No	Paket Dikirim	Paket Diterima	Packet Loss (%)	Kategori TIPHON
1	3.500	3.429	2,03	Baik
2	4.500	4.405	2,11	Baik
3	15.700	15.481	1,39	Sangat Bagus
4	8.900	8.732	1,89	Sangat Bagus
5	12.800	12.564	1,84	Sangat Bagus

d. Pengujian *jitter*

Pengujian *jitter* dilakukan untuk mengukur variasi delay dan kestabilan transmisi data pada sistem. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 14 dan dihitung menggunakan Persamaan ((13).

Tabel 14. Pengujian *Jitter*

No	Total Variasi Delay (ms)	Total Paket Diterima	Jitter (ms)	Kategori TIPHON
1	1.715	3.429	0,50	Sangat Bagus
2	2.202	4.405	0,50	Sangat Bagus
3	7.740	15.481	0,50	Sangat Bagus
4	4.366	8.732	0,50	Sangat Bagus
5	6.282	12.564	0,50	Sangat Bagus

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem kontrol pertumbuhan tanaman cabai pada greenhouse berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode *Decision Tree* c5 dan protokol *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS) berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan sensor suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah, dan intensitas cahaya yang terintegrasi dengan NodeMCU ESP32. Sistem mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan *greenhouse* secara *real-time* serta menampilkan data hasil pengukuran melalui antarmuka web.

Metode Decision Tree C5 yang diterapkan pada sistem dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan *greenhouse* ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk berdasarkan data sensor yang diperoleh. Hasil evaluasi model menunjukkan nilai *Accuracy* sebesar 91,67%, *Balanced Accuracy* sebesar 66,67%, dan Macro F1-Score sebesar 65,08%. Nilai *accuracy* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar data uji berhasil diklasifikasikan dengan benar. Namun, nilai *Balanced Accuracy* dan *Macro F1-Score* menunjukkan bahwa performa model belum merata pada seluruh kelas karena distribusi data yang tidak seimbang. Model masih memiliki keterbatasan dalam mengenali kelas minoritas, sehingga hasil klasifikasi pada kelas tersebut belum optimal.Sistem juga mampu melakukan pengendalian aktuator secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) parameter lingkungan yang telah ditentukan, sehingga kondisi greenhouse dapat dipertahankan sesuai kebutuhan pertumbuhan tanaman cabai. Selain itu, hasil pengujian *Quality of Service* (QoS) menunjukkan bahwa komunikasi data menggunakan protokol HTTPS berjalan dengan baik dan stabil, sehingga mendukung proses monitoring dan pengendalian sistem secara *real-time*.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah mampu mendukung proses monitoring dan pengendalian lingkungan greenhouse tanaman cabai secara otomatis. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan jumlah data yang lebih banyak dan lebih seimbang pada setiap kelas atau menerapkan teknik penanganan data tidak seimbang agar kemampuan model dalam mengklasifikasikan seluruh kelas dapat ditingkatkan.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan antara para penulis maupun dengan objek penelitian dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Z. Arief, H. Zarory, J. Jufrizel, dan D. Mursyitah, "Rancang bangun sistem pemantauan dan penyiraman pintar tanaman cabai pada *greenhouse* menggunakan Fuzzy Mamdani berbasis Blynk IoT," *AITI Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 21, no. 2, hal. 271–284, 2024.

[2] W. Wijayanti, K. Santa, dan S. C. Kumajas, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Kelembaban Dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Internet of Things," *Jurnal Minfo polgan*, vol. 14, hal. 2209–2222, 2025.

[3] M. S. Farooq, S. Riaz, M. A. Helou, F. S. Khan, A. Abid, dan A. Alvi, "*Internet of Things* in *Greenhouse* Agriculture: A Survey on Enabling Technologies, Applications, and Protocols," *IEEE Access*, vol. 10, hal. 53374–53397, 2022.

[4] S. Aminah, T. Rismawan, S. Suhardi, dan D. Triyanto, "Sistem Pemantauan dan Kendali Kelembapan Udara Pada Budi Daya Bunga Anggrek Berbasis Internet of Things," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 9, no. 6, hal. 2081−2091, 2022.

[5] A. Rizzardi, S. Sicari, dan A. Coen-porisini, *Analysis on functionalities and security features of Internet of Things related protocols*, vol. 28, no. 7. Springer US, 2022.

[6] Y.-C. Tsao, F.-J. Cheng, Y.-H. Li, dan L.-D. Liao, "An IoT-Based Smart System with an MQTT Broker for Individual Patient Vital Sign Monitoring in Potential Emergency or Prehospital Applications," *Emerg. Med. Int.*, vol. 2022, hal. 1–13, 2022, doi: 10.1155/2022/7245650.

[7] U. Ristian, I. Ruslianto, H. Hasfani, dan K. Sari, "Perancangan Arsitektur Node Nirkabel dalam Efisiensi Bandwidth Smart *Greenhouse* Berbasis Protokol MQTT," Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)., vol. 9, no. 2, hal. 218–225, 2023.

[8] K. Nurfalah, E. Firmansyah, B. Sutara, dan Y. Sofiyan, "Prediksi Risiko Gagal Panen Cabai Rawit Merah Menggunakan Algoritma Decision Tree," DSI: Jurnal Data Science Indonesia, vol. 5, no. 2, hal. 111–120, 2025.

[9] W. O. S. N. Alam, A. N. Aliansyah, F. E. Larobu, N. Z. Dinianti, L. Mulyawati, dan I. Galugu, "Tingkat akurasi Sensor AMG8833 dan Sensor MLX90614 dalam Mengukur Suhu Tubuh," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 1, hal. 169–179, 2022.

[10] M. R. Lasendra, I. Efendi, Sutejo, dan Novianto, "Pengaruh Tinggi dan Sistem Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai Merah (Capsicum annum L.) dalam Rumah Plastik," *Jurnal Agro Silampari*, vol. 1, no. 1, hal. 1–11, 2022.

[11] H. A. Cahyadi, D. Ciptaningtyas, L. H. Pratopo, dan A. Thoriq, "Model Prediksi Kadar Air Media Tanam Menggunakan Algoritma Regresi *Decision Tree*, Support Vector Machine, Dan Random Forest (Studi Kasus *Greenhouse* Cabai Rawit Di Kebun Edukasi Eptilu," *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 4, no. 8, hal. 672–680, 2024.

[12] RONI, A. ABDULLAH, dan R. W. S. INSANI, "Implementasi Naïve Bayes dan Decision Tree Untuk Klasifikasi Jenis Tanaman," *Jurnal Tekno Insentif*, vol. 19, no. 2, hal. 197–212, 2025, doi: DOI : https://doi.org/10.36787/jti.v19i2.2072 |.

[13] F. N. Umma, B. Warsito, dan D. A. I. Maruddani, "Klasifikasi status kemiskinan rumah tangga dengan algoritma c5.0 di kabupaten pemalang," *Student Scientific Creativity Journal*, vol. 10, hal. 221–229, 2021.

[14] M. Z. Hasan, Z. M. Hanapi, M. Z. Hussain, M. Hussin, N. Sarwar, dan M. Y. Akhlaqi, "Review Article Deep Insight into IoT-Enabled Agriculture and Network Protocols," vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/5617903.

[15] Z. M. Luthfansa dan U. D. Rosiani, "Pemanfaatan Wireshark untuk Sniffing Komunikasi Data

Berprotokol HTTP pada Jaringan Internet," *Journal Information Engineering and Educational Technology*, vol. 05, hal. 34–39, 2021.

[16] A. F. Gentile, D. Macrì, D. L. Carnì, E. Greco, dan F. Lamonaca, "A Performance Analysis of Security Protocols for Distributed Constrained Hardware and Open Source Infrastructures," hal. 1–22, 2024.

[17] A. Sanaris dan I. Suharjo, "Prototype Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan NodeMCU ESP32 Dan Telegram Bot Berbasis *Internet of Things* (IoT)," *Jurnal Prodi Sistem Informasi*, no. 84, hal. 17–24, 2020.

[18] I. H. Eryk, S. A. Kusuma, dan M. N. Hidayat, "Sistem Otomasi Suhu dan Kelembaban Pada *Greenhouse* Berbasis Sensor DHT22 dan Mikrokontroler," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, hal. 97–102, 2025.

[19] J. D. Stamford, J. Stevens, P. M. Mullineaux, dan T. Lawson, "LED Lighting: A Grower's Guide to Light Spectra," *HortScience*, vol. 58, no. 2, hal. 180–196, 2023, doi: 10.21273/HORTSCI16823-22.

[20] E. Damayanti, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Proses Pengisian Air Pada Toren Dengan Interface Hmi Weintek MT6070iH Dan Smartphone Android," *Jurnal TEDC*, vol. 14, no. 3, hal. 237–248, 2020.

[21] D. F. Murtadho, M. A. Murti, C. Setianingsih, A. Cucus, dan R. Y. Endra, "Perancangan Sistem Kendali Terintegrasi Berbasis IoT pada Tanaman Hidroponik dengan Komunikasi NB-IoT Menggunakan Metode Fuzzy," *eProceedings OF ENGINEERING.*, vol. 8, no. 4, hal, 3815–3822, 2021,

[22] H. Darmono, R. H. Y. Perdana, dan W. Puspitasari, "Observation of *greenhouse* condition based on wireless sensor networks," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 732, no. 1, hal. 1–7, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/732/1/012107.

[23] P. Ariyanto, A. Iskandar, dan U. Darusalam, "Rancang Bangun *Internet of Things* (IoT) Pengaturan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, vol. 5, no. 2, hal. 112–118, 2021.

[24] A. S. Rusdianto, L. M. Khasanah, B. Suryadharma, Y. Wibowo, dan N. S. Mahardika, "Pengembangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban di Ruang Fermentasi Tembakau Bawah Naungan (TBN) Berbasis *Internet of Things* (IoT) (Development of a Temperature and Humidity Monitoring System In a Under Shade Tobacco Fermentation Room (TBN) Base," JOFE : Journal of Food Engineering, vol. 1, no. 2, hal. 90–100, 2022.

[25] I. Sahputra, Mauliza, dan S. F. A. Zohra, "Implementasi Algoritma C5 . 0 Pada Klasifikasi Status Gizi Ibu Hamil di," *METIK JURNAL*, vol. 7, hal. 42–46, 2023, doi: 10.47002/metik.v7i1.562.

[26] J. R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*. San Mateo, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

[27] RuleQuest Research, "See5/C5.0 Information," RuleQuest Research Pty Ltd. [Online]. Available: https://www.rulequest.com/see5-info.html. [Accessed: 20-April-2026].