

DESAIN SISTEM INKUBATOR TELUR OTOMATIS MENGUNAKAN PROTOKOL MQTT TERINTEGRASI DENGAN APLIKASI SELULER

Ardianto Syaifur Rohman^{1*}, Sihmaulana Dwianto², Tunjung Genarsih³
^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Negeri Jember, Indonesia

*e-mail: ardianto.sr@polije.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas desain sistem inkubator telur otomatis yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) terintegrasi aplikasi mobile, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses penetasan telur. Metode penetasan tradisional sering mengalami tantangan dalam kontrol suhu dan kelembaban, yang dapat mengakibatkan kegagalan penetasan. Dengan memanfaatkan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), sistem ini mampu melakukan pemantauan dan pengendalian suhu dan kelembaban secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kalibrasi sensor suhu dan kelembaban DHT11 memberikan error maksimum sebesar +1,10, dan otomatisasi relay berhasil menjaga kondisi suhu dan kelembaban optimal. Stabilitas konektivitas MQTT mencapai 99,8%, dengan *latency* rendah kurang dari 150 ms, yang mendukung komunikasi cepat dan andal antara pengguna dan perangkat. Temuan ini menegaskan pentingnya penerapan teknologi modern dalam budidaya unggas, serta memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan praktik penetasan telur.

Kata Kunci: Inkubator Telur Otomatis, Internet Of Things (IoT), Aplikasi Seluler, Sensor Suhu Dan Kelembaban, Kalibrasi Sensor, Otomatisasi Relay, Protokol MQTT.

ABSTRACT

This research discusses the design of an automatic egg incubator system utilizing Internet of Things (IoT) technology and mobile applications, aimed at enhancing the efficiency and effectiveness of the egg hatching process. Traditional hatching methods often face challenges in temperature and humidity control, which can lead to hatching failures. By leveraging the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, this system is capable of real-time monitoring and control of temperature and humidity. Test results indicate that the calibration of DHT11 temperature and humidity sensors yields a maximum error of +1.10, and relay automation successfully maintains optimal temperature and humidity conditions. The stability of MQTT connectivity reaches 99.8%, with low latency of less than 150 ms, supporting fast and reliable communication between users and devices. These findings underscore the importance of modern technology in poultry farming and provide innovative solutions to improve egg hatching practices.

Keywords: Automatic Egg Incubator, Internet of Things (IoT), Mobile Application, Temperature and Humidity sensor, sensor calibration, Relay Automation, MQTT Protocol.

I. PENDAHULUAN

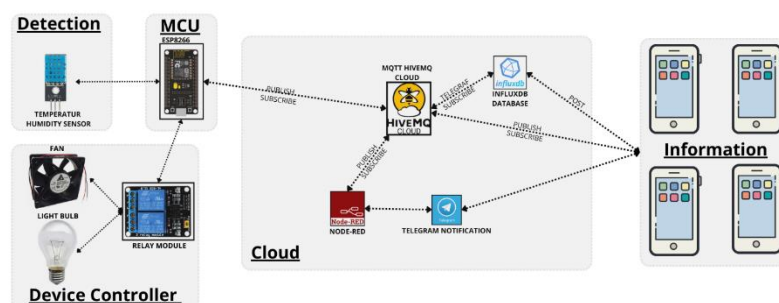
Penetasan telur merupakan proses kritis dalam industri peternakan unggas dan konservasi spesies langka. Metode penetasan tradisional seringkali menghadapi tantangan seperti kontrol suhu dan kelembaban yang tidak konsisten, pemantauan manual yang intensif, dan risiko kegagalan penetasan yang tinggi. Di era digital ini, ada kebutuhan yang semakin meningkat untuk mengotomatisasi dan meningkatkan efisiensi proses penetasan telur. Teknologi digital yang terus berkembang saat ini berbanding lurus dengan kebutuhan akan sistem monitoring yang efektif, terutama di sektor pertanian dan peternakan. Pengelolaan dari sektor peternakan yang membutuhkan sistem monitoring secara optimal yaitu budidaya unggas. Sedangkan salah satu komponen penting dalam budidaya unggas adalah penetasan telur. Dimana suhu dan kelembaban yang tepat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas telur yang menetas[1][2]. Ketidaksihesuaian kondisi ini dapat mengakibatkan kerugian yang signifikan bagi para peternak terutama akibat lingkungan yang tidak mendukung[3]. Dengan memanfaatkan teknologi terkini, para peternak dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas mereka [4]. Sehingga, pengembangan aplikasi mobile yang dapat memantau dan mengendalikan kondisi ini menjadi sebuah keharusan.

Salah satu teknologi yang bisa dimanfaatkan untuk pemantauan dan pengendalian adalah penggunaan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) [5]. Protokol ini dikenal dengan kemampuannya dalam komunikasi yang efisien dan *real-time* [6], serta cocok digunakan dalam lingkungan dengan bandwidth yang terbatas[7]. MQTT akan melakukan pengumpulan data secara terus-menerus [8] dari berbagai sensor yang terpasang. Sensor-sensor ini berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban. MQTT memungkinkan perangkat untuk saling bertukar informasi dengan cepat [9], sehingga memudahkan pengguna untuk mendapatkan data suhu dan kelembaban secara langsung dari perangkat inkubator. Selain itu MQTT memiliki kelebihan lain yaitu, header yang lebih ringkas sehingga dalam penggunaannya dapat menghemat sumber daya dan lebih ringan. [10].

Dengan memanfaatkan MQTT, aplikasi mobile dapat dirancang untuk menyediakan antarmuka yang intuitif [11] dan responsif [12] bagi pengguna. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat melakukan monitoring kondisi inkubator dari jarak jauh [13], mengatur parameter yang diperlukan [14], serta menerima notifikasi jika terjadi perubahan yang signifikan [15].. Oleh karena itu dalam paper ini, penelitian ini bertujuan untuk mendesain sistem inkubator telur otomatis berbasis MQTT dengan terintegrasi aplikasi seluler. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan metode penetasan tradisional, memanfaatkan kemajuan teknologi IoT dan seluler, serta memberikan solusi yang efektif dan efisien untuk industri peternakan unggas.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Block Diagram



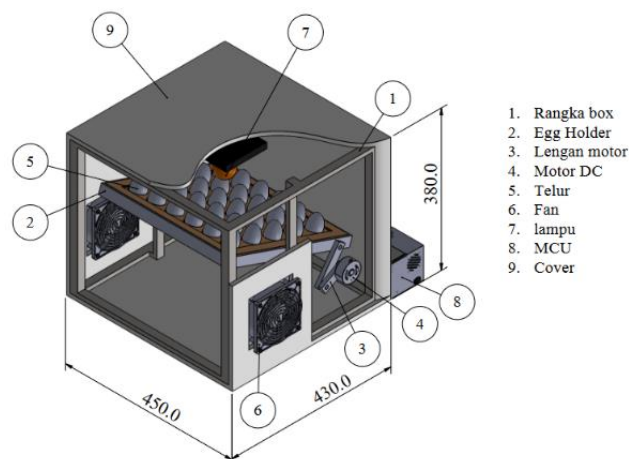
Gambar 1. Blok Diagram

Diagram blok pada gambar 1 menunjukkan sistem inkubator telur yang menggunakan IoT untuk memantau dan mengendalikan seperti kipas angin dan lampu menggunakan sensor suhu dan kelembaban. Sistem ini dikontrol menggunakan Node-RED dan aplikasi mobile, sebuah alat visual yang memungkinkan pengguna untuk membangun alur kerja untuk menghubungkan perangkat.

1. Sensor suhu dan kelembaban mengumpulkan data dan mengirimkan data ke MCU.
2. MCU merupakan ESP8266, merupakan mikrokontroler yang dapat diprogram yang berfungsi sebagai otak sistem.
3. MCU ESP8266 akan mengirim data ke Cloud melalui MQTT HIVEHQ.
4. Cloud (MQTT HIVEHQ) menyimpan data dan meneruskan data ke aplikasi Node-RED.
5. Node-RED akan memproses data dan mengirimkan data ke InfluxDB.
6. InfluxDB merupakan database yang menyimpan data waktu.
7. Data dari InfluxDB akan ditampilkan pada perangkat mobile (smartphone) dan akan diproses untuk mengontrol perangkat lain seperti kipas dan lampu.
8. Jika data menunjukkan suhu dan kelembaban yang tinggi, Node-RED dapat mengirimkan notifikasi telegram untuk memberi tahu pengguna.
9. Node-RED dapat mengirim perintah ke relay module untuk mengontrol kipas angin dan lampu, seperti menghidupkan kipas angin saat suhu terlalu tinggi atau menghidupkan lampu saat suhu terlalu rendah.

Sistem ini dapat dikonfigurasi untuk memicu berbagai tindakan berdasarkan data yang dikumpulkan. Apabila suhu mencapai suhu tertentu, sistem dapat secara otomatis menghidupkan kipas angin, atau jika kelembaban naik di atas titik tertentu, sistem dapat secara otomatis mengaktifkan lampu pijar untuk menurunkan kelembaban inkubator telur.

2.2 Perancangan Sistem Inkubator Telur



Gambar 2. Perancangan Sistem Inkubator Telur

Perancangan inkubator pada gambar 2 berdasarkan pada gerakan alami sel telur induk selama inkubasi. Dimana induk telur selalu membalik telur beberapa kali agar janin dari telur tidak menempel dengan cangkang telur. Suhu dari incubator telur ini juga dapat diatur sesuai suhu alami telur ketika mengeram. Desain alat incubator telur yang kita buat memiliki dimensi 450 x 430 x 380 mm (P x L x T) yang dimana bisa menampung 25 telur ayam. Alat incubator juga dilengkapi dengan lampu sebagai pemanas, dan juga fan sehingga suhu dan juga

kelembapan dari incubator telur bisa stabil. Inkubator telur juga memiliki motor yang berfungsi sebagai alat bantu untuk mengayun telur sampai kemiringan 45 derajat ,sehingga janin telur tidak menempel ke cangkang telur.

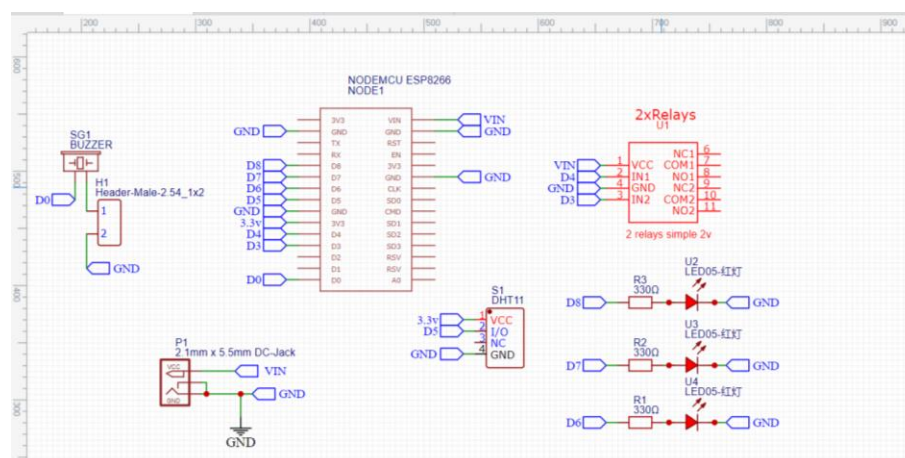
2.3. Prinsip Kerja Sistem Inkubator Telur Otomatis

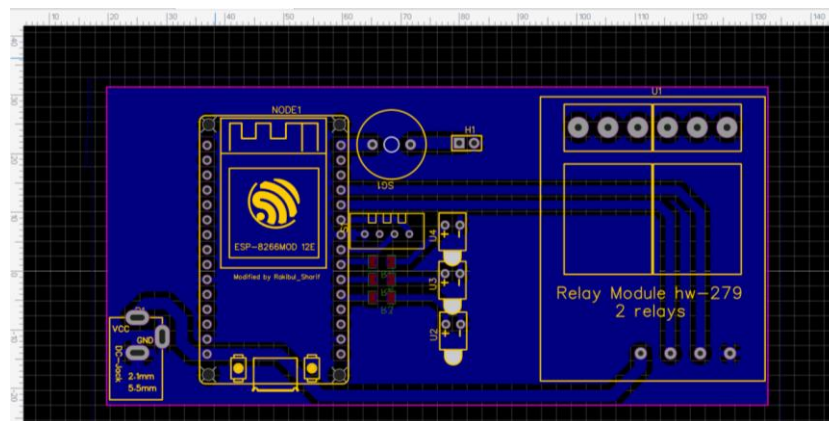
Prinsip kerja Sistem Inkubator Telur Otomatis berbasis mqtt terintegrasi aplikasi selular dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Setelah adaptor catu daya dipasang, perangkat akan menyala setelah sakelar daya diaktifkan.
2. Pada penyalan pertama, ESP 8266 akan mencari sinyal Wi-Fi yang ditandai dengan lampu LED berkedip.
3. Setelah perangkat terhubung ke Wi-Fi pengguna, mode pemantauan dimulai dengan ditandai dengan lampu LED hijau menyala.
4. Hasil pembacaan akan diproses.
5. Ketika ada suhu yang melebihi 38 derajat Celcius ditangkap oleh sensor DHT11, lampu LED Merah akan menyala dan akan mengaktifkan fan hingga kondisi suhu normal di angka 37-38 C.
6. Disaat yang sama ketika terjadi kenaikan suhu melebihi 38 derajat Celcius, telegram akan mengirim notifikasi peringatan.
7. Jika suhu telah mencapai rentang normal maka lampu LED hijau standby, dan kipas akan nonaktif, Sistem alarm peringatan pada perangkat keras dan perangkat lunak dimatikan termasuk kipas.
8. Semua event akan terekam dalam bentuk database menggunakan platform database influxdb

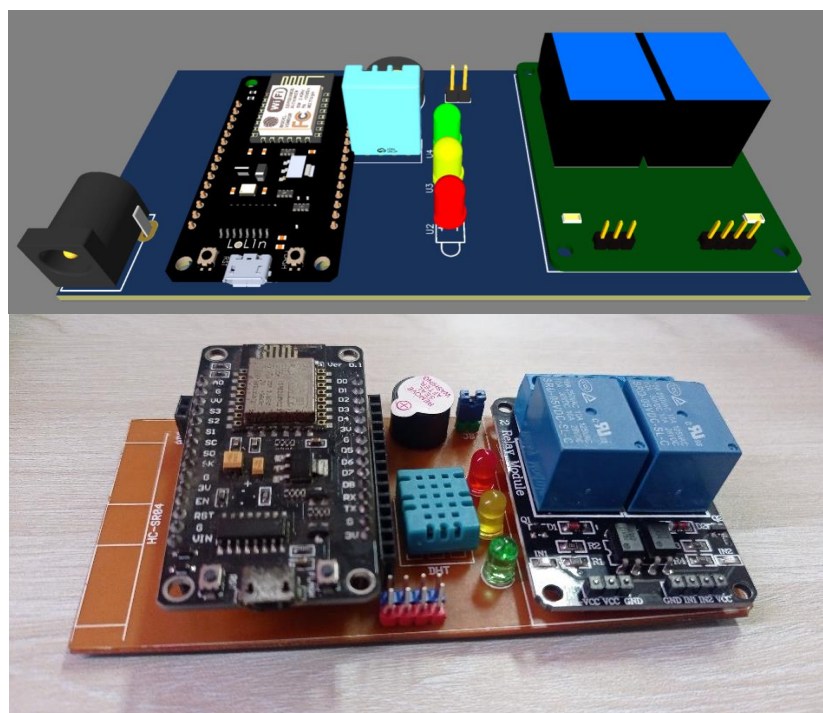
Perangkat keras yang digunakan dalam makalah ini adalah modul ESP8266 untuk menghubungkan perangkat mcu dengan wifi dan sensor dht 11 digunakan sebagai deteksi temperatur dan kelembaban, buzzer peringatan , relay modul, lampu pijar dan kipas. Aplikasi selular menggunakan aplikasi berbasis android hasil desain program flutter.

2.4. Layout Skematik dan Sirkuit PCB





Gambar 3. Diagram Skematik Sirkuit Sistem Inkubator Telur



Gambar 4. Implementasi PCB Sirkuit Sistem Inkubator Telur Otomatis

Peran Nodemcu ESP8266 adalah menulis program, mengkompilasi menjadi kode biner, dan mengunggahnya ke memori mikrokontroler sebagai penghubung dengan internet melalui wifi, kemudian setelah terhubung mcu akan bertukar data melalui cloud dengan menggunakan protokol mqtt cloud hivemq. Menggunakan sensor temperatur dan kelembaban sebagai detektor yang ditampilkan pada mobile aplikasi dalam bentuk suhu dan kelembaban. Buzzer dan LED memiliki peran sebagai indikator ketika sensor mendeteksi adanya suhu berlebih maupun kelembaban yang tidak sesuai standar, dan kipas yang nantinya terhubung dan dikendalikan dengan modul relay guna sebagai penurun suhu dan pengatur kelembaban dengan menghasilkan angin/udara dalam incubator. Gambar 3 menunjukkan jalur schematic, dan aktualisasi PCB sirkuit yang digunakan dalam pekerjaan ini. Gambar 4 menunjukkan prototipe perangkat deteksi suhu kelembaban serta kendali relay lampu pijar dan kipas angin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Sensor Suhu DHT11

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sensor DHT11. Peneliti menggunakan thermometer sebagai pembanding suhu dalam proses pengkalibrasian sensor suhu dht 11 menggunakan regresi linier dan setelah dilakukan kalibrasi didapat persamaan $y = 0.7625x + 9.5375$, Untuk mengkalibrasi, kita menggunakan inverse dari persamaan regresi linier sehingga didapatkan $x = (y - 9.5375) / 0.7625$ dimana nilai y merupakan hasil pembacaan nilai sensor suhu DHT11 . Nilai error sebelum kalibrasi didapatkan dari hasil pembacaan nilai sensor DHT 11 dikurangi nilai pembacaan Thermometer Digital terkalibrasi. Nilai error setelah kalibrasi didapatkan dari pembacaan nilai sensor terkalibrasi dikurangi nilai pembacaan thermometer digital. Setelah proses kalibrasi, error pada pembacaan sensor dht 11 terkalibrasi untuk beberapa titik menjadi lebih kecil, terutama untuk pembacaan di rentang nilai rendah. Namun, untuk nilai yang lebih tinggi, error pada pembacaan sensor dht 11 terkalibrasi cenderung lebih besar, hal ini bisa disebabkan oleh sifat non-linear dari sensor atau keterbatasan jumlah data kalibrasi. Sehingga dapat disimpulkan metode regresi linier ini memberikan perbaikan untuk beberapa titik, tetapi tidak konsisten untuk seluruh rentang pengukuran.

Tabel 1. Pengujian Sensor Suhu DHT11

No.	Thermometer Digital (°C)	DHT 11 sensor (°C)	Nilai Terkalibrasi sensor DHT11(°C)	Error Sebelum Kalibrasi (°C)	Error Setelah Kalibrasi (°C)
1	36	36.8	35.76	+0.80	-0.24
2	35	36.1	34.84	+1.10	-0.16
3	38	37.8	37.05	-0.20	-0.95
4	39	38.8	38.37	-0.20	-0.63
5	40	39.7	39.55	-0.30	-0.45

3.2 Hasil Pengujian Sensor Kelembaban DHT11

Dalam proses kalibrasi kelembaban pada sensor DHT11, pada table 2 peneliti menggunakan metode kalibrasi regresi linier, untuk Hygrometer Digital sebagai variabel independen (x) dan pembacaan sensor DHT11 sebagai variabel dependen (y). Untuk menghitung regresi linier, kita perlu menghitung: Σx , Σy , Σx^2 , Σxy , dan n (jumlah data). Sehingga peneliti mendapatkan persamaan regresi linier: $y = 0.8691x + 7.1809$. Pengukuran akhir kelembaban pada sensor DHT11 setelah Calibration dihitung menggunakan invers persamaan regresi linier: $x = (y - 7.1809) / 0.8691$, di mana y adalah pembacaan nilai sensor DHT 11. Error Sebelum Kalibrasi didapatkan dari nilai pembacaan sensor DHT 11 - Hygrometer Digital Error Setelah Kalibrasi didapatkan dari Nilai Terkalibrasi - Hygrometer Digital. Setelah kalibrasi, error pembacaan sensor untuk beberapa titik menjadi lebih kecil, terutama untuk pembacaan di rentang nilai tengah pengukuran. Namun, untuk rentang nilai ekstrem (terendah dan tertinggi), error setelah kalibrasi sedikit lebih besar. Ini bisa disebabkan oleh sifat non-linear dari sensor atau keterbatasan jumlah data kalibrasi. Metode regresi linier ini memberikan perbaikan secara umum, tetapi mungkin tidak sempurna untuk seluruh range pengukuran.

Tabel 2. Pengujian Sensor Kelembaban DHT11

No.	Hygrometer Digital (RH)	Pembacaan Sensor DHT 11 (RH)	Nilai Terkalibrasi (RH)	Error Sebelum Kalibrasi (RH)	Error Setelah Kalibrasi (RH)
1	50	51.8	51.34	+1.80	+1.34
2	52	52.5	52.14	+0.50	+0.14
3	55	54.2	54.11	-0.80	-0.89
4	53	52.8	52.49	-0.20	-0.51
5	58	58.8	59.39	+0.80	+1.39

3.3 Hasil Pengujian otomasi Relay untuk respons terhadap perubahan suhu dan kelembaban

Dalam pengujian ini peneliti menggunakan acuan rentang suhu ideal 36°C - 38°C dan rentang kelembaban ideal: 50% - 55% yang digunakan pada inkubator telur. Aktuator berupa kipas angin yang terhubung dengan relay digunakan untuk menurunkan suhu dan kelembaban. Aktuator berupa lampu pijar yang terhubung dengan relay digunakan untuk meningkatkan suhu dan menurunkan kelembaban. Ketika suhu terlalu rendah (< 36°C), lampu pijar otomatis menyala untuk meningkatkan suhu. Ketika suhu terlalu tinggi (> 38°C), lampu pijar mati dan kipas angin otomatis menyala untuk menurunkan suhu. Ketika kelembaban terlalu tinggi (> 55%), kipas angin otomatis menyala untuk menurunkan kelembaban. Ketika kelembaban terlalu rendah (< 45%), lampu pijar otomatis menyala untuk menurunkan kelembaban dikarenakan lampu pijar cenderung akan mengeringkan udara. Dalam rentang suhu dan kelembaban ideal (suhu 37-38°C dan kelembaban 50-55%), kedua aktuator dalam keadaan OFF, sehingga dalam hal ini terdapat *zone buffer* (36-38°C, 45-55%) di mana kedua relay bisa OFF, sehingga menghemat energi. Sistem berusaha menyeimbangkan suhu dan kelembaban secara bersamaan.

Tabel 3. Pengujian Otomasi Relay Terhadap perubahan suhu dan kelembaban

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Relay Kipas Angin	Relay Lampu Pijar
< 36	< 45	OFF	ON
< 36	45 - 50	OFF	ON
< 36	50 - 55	OFF	ON
< 36	> 55	ON	ON
36 – 37	< 45	OFF	ON
36 – 37	45 - 50	OFF	OFF
36 – 37	50 - 55	OFF	OFF

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Relay Kipas Angin	Relay Lampu Pijar
36 – 37	> 55	ON	OFF
37 – 38	< 45	OFF	ON
37 – 38	45 - 50	OFF	OFF
37 – 38	50 - 55	OFF	OFF
37 – 38	> 55	ON	OFF
38 – 39	< 45	ON	OFF
38 – 39	45 – 50	ON	OFF
38 - 39	50 – 55	ON	OFF
38 - 39	> 55	ON	OFF
> 39	< 45	ON	OFF
> 39	45 – 50	ON	OFF
> 39	50 – 55	ON	OFF
> 39	> 55	ON	OFF

3.4 Hasil Pengujian Konektivitas MQTT Cloud HIVEMQ pada MCU dan Mobile APPS

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja konektivitas MQTT Cloud HIVEMQ antara perangkat IoT berbasis mikrokontroler (NodeMCU ESP8266) dan aplikasi mobile berbasis Flutter. Pengujian dilakukan menggunakan Wireshark sebagai alat analisis paket jaringan, memberikan wawasan mendalam tentang berbagai aspek kinerja konektivitas. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan dalam beberapa parameter kunci antara kedua platform. Aplikasi mobile Flutter mendemonstrasikan kinerja yang lebih unggul dalam mayoritas aspek yang diuji. Latency pada aplikasi Flutter (85 ± 10 ms) secara substansial lebih rendah dibandingkan dengan NodeMCU ESP8266 (145 ± 15 ms), mengindikasikan responsivitas yang lebih baik. Throughput aplikasi Flutter (142.3 ± 7.8 kbps) hampir empat kali lipat dari NodeMCU (38.6 ± 4.2 kbps), menunjukkan kapasitas transfer data yang jauh lebih tinggi. Dari segi keandalan koneksi, aplikasi Flutter menunjukkan keunggulan dengan *packet loss* yang lebih rendah 0.2% : 0.5% dan *connection stability* yang lebih tinggi 99.97% : 99.82%. Hal ini dapat dikaitkan dengan kemampuan perangkat mobile yang lebih canggih dan konektivitas jaringan yang umumnya lebih stabil. NodeMCU ESP8266 menunjukkan efisiensi dalam penggunaan *bandwidth* dengan ukuran paket rata-rata yang lebih kecil (118 ± 10 bytes) dibandingkan mobile aplikasi Flutter.

Tabel 4. Hasil Pengujian Konektivitas MQTT Cloud HIVEMQ pada MCU dan Mobile APPS

Parameter	NodeMCU ESP8266	Mobile App (Flutter)	Metode Pengukuran Wireshark
Latency (ms)	145 ± 15	85 ± 10	Δt antara PUBLISH dan PUBACK
Packet Loss (%)	0.5 ± 0.1	0.2 ± 0.05	(Paket hilang / Total paket) × 100%
Throughput (kbps)	38.6 ± 4.2	142.3 ± 7.8	Jumlah bit / Waktu transmisi
Connection Time (s)	2.45 ± 0.22	1.72 ± 0.15	Δt antara SYN dan CONNACK
MQTT Protocol Version	3.1.1	3.1.1	Analisis header CONNECT
QoS Level	1	2	Flag QoS pada paket PUBLISH
TLS Version	1.2	1.3	Analisis Client Hello TLS
Keep-Alive Interval (s)	60	30	Interval antara PINGREQ
Average Packet Size (bytes)	118 ± 10	205 ± 18	Ukuran rata-rata paket PUBLISH
Publish Frequency (msg/min)	8.7 ± 1.2	26.4 ± 2.3	Jumlah PUBLISH per menit
Connection Stability (%)	99.82 ± 0.05	99.97 ± 0.02	(Waktu koneksi / Total waktu) × 100%

IV.KESIMPULAN

Dari hasil secara keseluruhan pengujian yang dilakukan oleh peneliti “Desain Sistem Inkubator Telur Otomatis Menggunakan MQTT Terintegrasi Dan Aplikasi Seluler” menunjukkan bahwa sistem inkubator telur otomatis berbasis IoT dan aplikasi mobile mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses penetasan telur. Kalibrasi sensor dengan error terbesar +1,10 dan otomatisasi relay berkontribusi pada pengaturan kondisi suhu dan kelembaban yang optimal, sedangkan stabilitas konektivitas MQTT sebesar 99,8% dan latency yang rendah kurang dari 150ms mendukung komunikasi antar pengguna dan perangkat yang cepat dan andal. Penelitian ini menegaskan pentingnya teknologi modern dalam meningkatkan praktik budidaya unggas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Ariani, R. Yuli Endra, E. Erlangga, Y. Aprlinda, and A. Reza Bahar, “Sistem Monitoring Suhu dan Pencahayaan Berbasis Internet of Thing (IoT) untuk Penetasan Telur Ayam,” *EXPERT: Jurnal Manajemen Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 36–41, 2020.
- [2] I. Aditia, R. Ilham, and J. P. Sembiring, “Penetas Telur Otomatis Berbasis Arduino Dengan Menggunakan Sensor DHT11,” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.33365/jimel.v1i1.
- [3] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, “Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2020.
- [4] A. Chandra, B. Lubis, H. Satria, M. Fitra Alayubby, and R. M. Putri, “Efisiensi Perbandingan Teknologi Mesin Inkubator Penetas Telur Unggas Otomatis Menggunakan Synchronous Motor AC dengan Sistem Manual,” *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, pp. 3–6, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- [5] A. Manowska, A. Wycisk, A. Nowrot, and J. Pielot, “The Use of the MQTT Protocol in Measurement, Monitoring and Control Systems as Part of the Implementation of Energy Management Systems,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12010017.
- [6] R. A. Atmoko, R. Riantini, and M. K. Hasin, “IoT real time data acquisition using MQTT protocol,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2017. doi: 10.1088/1742-6596/853/1/012003.
- [7] A. Narges and D. S. Ayman, “IoT Monitoring System Based on MQTT Publisher/Subscriber Protocol,” *Iraqi Journal of Computer, Communication, Control and System Engineering*, pp. 75–83, Jul. 2020, doi: 10.33103/uot.ijccce.20.3.7.
- [8] P. Kumar and N. Chattaraj, “A Cyber-Physical RPM Variometer using MQTT Protocol for Real-time Continuous Data-Acquisition,” in *2022 International Conference on Connected Systems & Intelligence (CSI)*, IEEE, Aug. 2022, pp. 1–9. doi: 10.1109/CSI54720.2022.9924125.
- [9] V. Kumar, G. Sakya, and C. Shankar, “WSN and IoT based smart city model using the MQTT protocol,” *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, vol. 22, no. 8, pp. 1423–1434, Nov. 2019, doi: 10.1080/09720529.2019.1692449.
- [10] J. Ilmiah and K. Grafis, “Analisis Implementasi Temperature Screening Contactless berbasis Internet Of Things (IOT) Menggunakan Protokol Message Queue Telemetry Transport (MQTT),” 2021. [Online]. Available: <http://journal.stekom.ac.id/index.php/E-Bisnis315>
- [11] M. A. Amaria, A. Fitriani, R. Asnawi, and S. Pranoto, “Pengembangan Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT.”
- [12] A. Hanif and R. Amri, “Implementasi Internet Of Things Pada Protokol MQTT Dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir,” *JURNAL INOVTEK POLBENG - SERI INFORMATIKA*, vol. 8, no. 2, pp. 489–501, 2023.

- [13] T. Budioko, "Sistem Monitoring Suhu Jarak Jauh Berbasis Internet Of Things Menggunakan Protokol MQTT," *Seminar Riset Teknologi Informasi (SRITI)*, pp. 353–358, 2016.
- [14] M. Handosa and D. Gračćanin, "Performance Evaluation Of Mqtt-Based Internet Of Things Systems," *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, pp. 4544–4545, 2018.
- [15] A. Munshi, "Improved MQTT Secure Transmission Flags in Smart Homes," *Sensors*, vol. 22, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22062174.