

Implementasi Arsitektur Publish/Subscribe pada Sistem Hidroponik menggunakan NodeMCU V3

^{1*} Diky Siswanto, ² Candrasa Olga Tahitya, ³ Gigih Priyandoko

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama Malang, Malang

^{1*} dsiswanto@widyagama.ac.id, ² candrasaolga@gmail.com, ³ gigih@widyagama.ac.id

Article Info

Article history:

Received xxxxx xxth, 202x

Revised xxxxx xxth, 202x

Accepted xxxxx xxth, 202x

Keyword:

Precision agriculture
Internet of Things (IoT)
Real-time data transmission
Environmental parameter control
Smart farming technology

ABSTRACT

The agricultural sector plays a vital role in national food security; however, land scarcity due to rapid urbanization has encouraged the adoption of alternative methods such as hydroponics. This method enables plant cultivation in controlled environments, yet manual monitoring of key parameters—such as water temperature, pH, and water level—is often inefficient and error-prone. This study presents the development of an automated monitoring and control system based on the Internet of Things (IoT), utilizing a publish/subscribe architecture. The system is built using NodeMCU V3 and Arduino Uno, equipped with temperature, pH, and ultrasonic sensors, and implemented in a Deep Water Culture (DWC) setup. Testing results indicate that the system can accurately read environmental parameters and transmit data in real-time to Firebase, achieving a throughput of 7753 Bps, 0% packet loss, and an average delay of 0.197 seconds from NodeMCU to Firebase, and 2.226 seconds in the reverse direction. The heater, chiller, and water pump operate automatically based on predefined thresholds ($\pm 3^{\circ}\text{C}$ for temperature and +2 cm for water level). All parameters can be remotely monitored and controlled via an Android application. The system has proven to be effective and efficient in supporting precision agriculture and offers a sustainable solution for optimizing hydroponic cultivation in limited land areas.

Copyright © 202x Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

First Author,

Email: dsiswanto@widyagama.ac.id

Abstrak— Sektor pertanian memegang peranan penting dalam ketahanan pangan nasional, namun keterbatasan lahan akibat urbanisasi mendorong adopsi metode alternatif seperti hidroponik. Sistem ini memungkinkan budidaya tanaman di lingkungan terkontrol, tetapi pemantauan manual terhadap parameter seperti suhu air, pH, dan ketinggian air seringkali tidak efisien dan rentan kesalahan. Studi ini mengembangkan sistem pemantauan dan kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan arsitektur publish/subscribe. Sistem dirancang dengan NodeMCU V3 dan Arduino Uno, dilengkapi sensor suhu, sensor pH, dan sensor ultrasonik, serta diimplementasikan pada metode Deep Water Culture (DWC). Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca parameter lingkungan dan mengirimkannya secara real-time ke Firebase, dengan nilai throughput sebesar 7753 Bps, packet loss 0%, dan delay rata-rata 0,197 detik dari NodeMCU ke Firebase, serta 2,226 detik sebaliknya. Pemanas, chiller, dan pompa air aktif secara otomatis berdasarkan ambang batas suhu ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) dan ketinggian air (+2 cm). Seluruh parameter dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh melalui aplikasi Android. Sistem ini terbukti efektif dan efisien dalam mendukung pertanian presisi, serta dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk optimalisasi budidaya hidroponik di lahan terbatas.

Kata Kunci: pertanian presisi, Internet of Things (IoT), transmisi data real-time, kontrol parameter lingkungan, teknologi pertanian cerdas.

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu isu strategis yang menjadi perhatian global, termasuk di Indonesia. Permasalahan ini semakin kompleks seiring dengan meningkatnya kebutuhan konsumsi pangan akibat pertumbuhan penduduk dan perubahan pola konsumsi, sementara luas lahan pertanian justru mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Kementerian Pertanian, luas lahan sawah di Indonesia menurun signifikan dari 8.111.593 hektar pada tahun 2014 menjadi 7.105.145 hektar pada tahun 2018, atau turun sebesar 12,97% [1]. Penurunan lahan pertanian ini berpotensi mengancam ketahanan pangan nasional, terutama karena Indonesia masih bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan pangan. Jika tren ini terus berlanjut tanpa adanya inovasi di sektor pertanian, ketergantungan terhadap pasokan pangan dari luar negeri akan semakin meningkat.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk menjawab tantangan tersebut. Salah satunya adalah pemanfaatan teknologi pertanian modern yang menawarkan alternatif untuk mengatasi keterbatasan lahan, seperti melalui sistem pertanian hidroponik. Hidroponik memungkinkan budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan media air yang kaya nutrisi, sehingga cocok diaplikasikan di lahan sempit termasuk pekarangan rumah perkotaan [2]. Teknologi hidroponik ini telah banyak dikembangkan menggunakan pendekatan otomatisasi berbasis mikrokontroler untuk mengoptimalkan produktivitas tanaman. Misalnya, sistem hidroponik berbasis prosesor yang dikendalikan melalui instrumen virtual LabVIEW telah mampu memvisualisasikan dan mengatur parameter lingkungan tanaman secara digital [3]. Sistem berbasis mikrokontroler lainnya difokuskan pada metode Deep Water Culture (DWC) yang dapat mengukur nilai pH serta mengendalikan tinggi air dalam reservoir nutrisi [4]. Nilai pH sendiri sangat penting bagi tanaman agar dapat menyerap nutrisi secara optimal, dengan kisaran ideal antara 5,5 hingga 6,5 [5].

Selain itu, beberapa penelitian telah mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino dan mikrokontroler Atmega328 menggunakan komunikasi peer-to-peer yang terbukti meningkatkan efisiensi penyiraman [6]. Pengembangan lainnya termasuk sistem pengaturan pH nutrisi berbasis Fuzzy Logic Controller yang mampu mengontrol keasaman larutan secara

otomatis [7]. Namun, beberapa sistem yang telah dikembangkan tersebut masih memiliki keterbatasan, seperti belum mendukung pemantauan secara *real-time* dan akses jarak jauh.

Dalam konteks komunikasi data pada sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT), arsitektur *publish/subscribe* menjadi pilihan populer karena efisien dan responsif dalam mendistribusikan informasi [8]. Arsitektur ini memungkinkan pengguna menerima data secara selektif berdasarkan langganan terhadap topik tertentu, sehingga data terbaru dapat diterima secara otomatis. IoT sendiri merupakan paradigma teknologi yang menghubungkan perangkat fisik melalui Internet sehingga dapat bertukar informasi secara *real-time* [9]. Pemanfaatan IoT dalam sistem hidroponik berpotensi meningkatkan produktivitas dan efisiensi, terutama melalui pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara jarak jauh dan *real-time*.

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem hidroponik berbasis IoT dengan penerapan arsitektur *publish/subscribe* untuk pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara *real-time*. Sistem ini diharapkan menjadi solusi efektif dalam mendukung pertanian berkelanjutan, khususnya pada lahan terbatas. Selain itu, penggunaan perangkat seperti NodeMCU V3 [10] dan sensor-sensor terintegrasi akan memungkinkan pengembangan sistem yang terjangkau dan mudah diimplementasikan pada skala rumah tangga maupun komersial. Keandalan NodeMCU V3 telah terbukti dalam beberapa penelitian, misalnya dalam pemantauan tekanan gas SF₆ berbasis IoT [11]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi pertanian yang adaptif terhadap keterbatasan lahan, sekaligus meningkatkan ketahanan pangan nasional.

2. METODE PENELITIAN

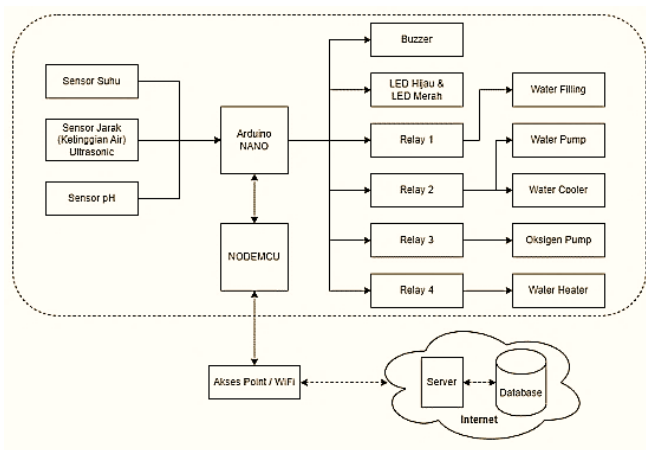
A. Mekanisme Kerja

Sistem yang dirancang terdiri dari dua bagian utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan meliputi satu set hidroponik berbasis DWC, Arduino Uno sebagai pengendali utama, serta sensor suhu, sensor ketinggian air (*water level*), dan sensor pH.

Sensor suhu berfungsi untuk mendeteksi suhu air dalam bak. Jika suhu tidak sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan, sistem akan mengirimkan perintah

ke modul Peltier untuk menaikkan atau menurunkan suhu hingga mencapai kondisi yang diinginkan. Sensor ketinggian air akan mengukur level air dalam bak. Jika level air berada di luar batas yang ditentukan, sistem akan mengaktifkan pompa untuk menambah atau mengurangi volume air sesuai kebutuhan.

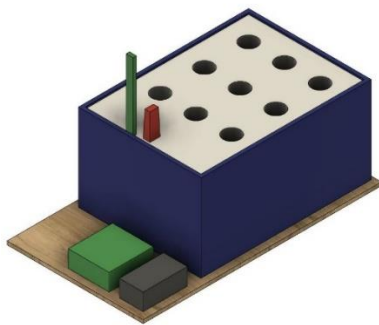
Semua data dari sensor diproses dan dikontrol oleh Arduino Uno, kemudian dikirimkan ke NodeMCU V3 untuk diteruskan ke basis-data IoT. Data ini nantinya dapat diakses secara *real-time* untuk pemantauan dan pengendalian sistem. Diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Sistem

B. Perancangan Hardware

Gambar 2 menampilkan perancangan prototipe dalam bentuk gambar 3 dimensi.



Gambar 2. Desain Prototipe

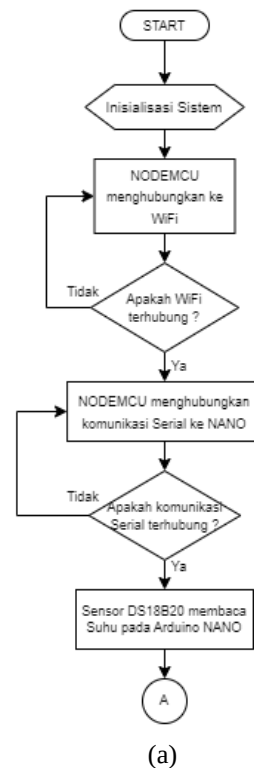
C. Perancangan Perangkat Lunak

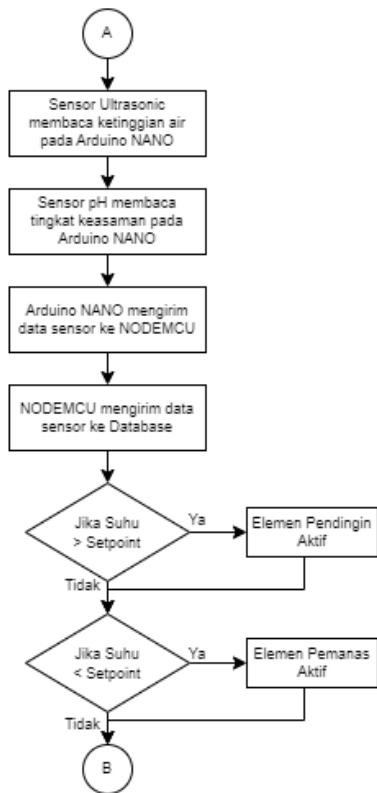
Perancangan perangkat lunak dalam sistem ini mencakup perencanaan server basis-data menggunakan Firebase, sebuah platform yang mendukung pemrosesan data secara *real-time*. Firebase memungkinkan setiap perubahan data langsung diperbarui dan disinkronkan pada perangkat yang terhubung, baik melalui aplikasi berbasis web maupun mobile. Dalam penelitian ini, NodeMCU V3 dikonfigurasi untuk mengirim data ke Firebase setiap 2 detik sekali, sehingga informasi dapat ditampilkan secara *real-time* pada aplikasi

monitoring. Aplikasi yang dikembangkan memiliki dua antarmuka utama, yaitu monitoring untuk menampilkan data sensor secara langsung dan kontrol untuk mengatur parameter sistem hidroponik sesuai kebutuhan.

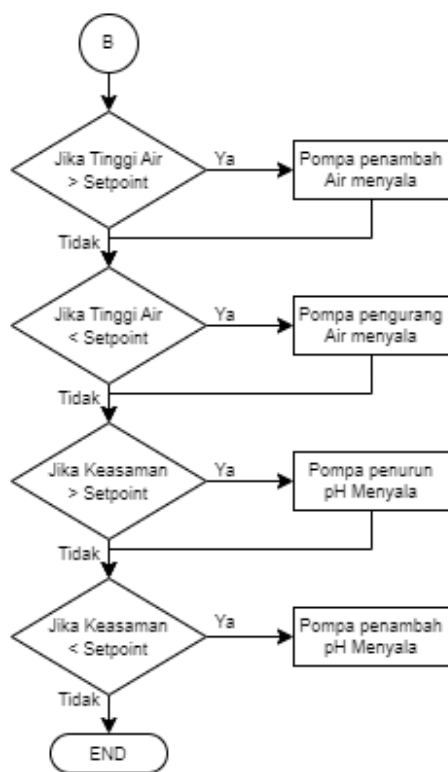
D. Flowchart

Dalam perancangan terdapat flowchart untuk mengetahui langkah – langkah dan keputusan yang ada didalam sistem. Flowchart penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.





(b)



(c)

Gambar 3. Flowchart Sistem

(a) Bagian Awal; (b) Bagian Tengah; (c) Bagian Akhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik otomatis berbasis IoT sesuai dengan rancangan awal. Hasil perakitan prototipe sesuai dengan desain tiga dimensi yang telah dibuat, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 hingga Gambar 16. Setiap komponen diuji secara fungsional.

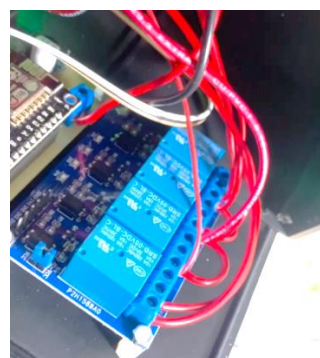


Gambar 4. Prototipe Alat

Proses pengisian air otomatis ditunjukkan pada Gambar 5–10.



Gambar 5. Water Filling Off



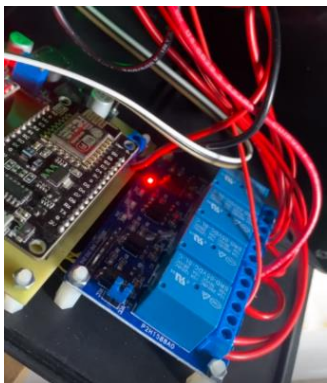
Gambar 6. Relai Pompa Off



Gambar 7. Tangki Penampungan Sebelum Pengisian



Gambar 8. Water Filling On



Gambar 9. Relai Pompa Aktif

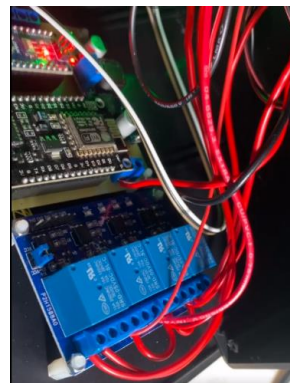


Gambar 10. Tangki Penampungan Setelah Pengisian

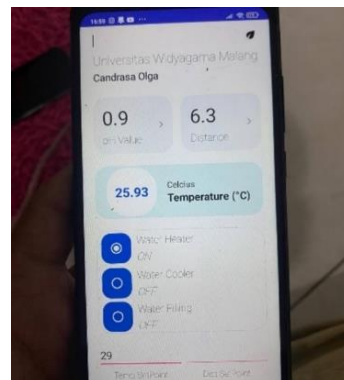
Proses pengendalian pemanas ditunjukkan pada Gambar 11–14.



Gambar 11. Water Heater Off

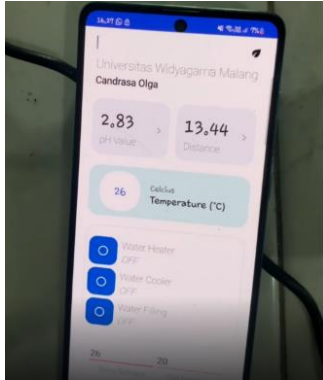


Gambar 12. Relai Water Heater Off



Gambar 13. Water Heater On

Proses pengoperasian sistem pendingin atau chiller disajikan pada Gambar 15–16.



Gambar 14. Water Cooler Off



Gambar 15. Water Cooler On

Logika kerja sistem dirancang agar komponen hanya aktif saat diperlukan, berdasarkan parameter suhu dan ketinggian air yang terdeteksi. Chiller akan aktif saat suhu air melebihi $+3^{\circ}\text{C}$ dari setpoint, pemanas aktif ketika suhu kurang dari -3°C dari setpoint, dan pompa aktif saat ketinggian air berada $+2$ cm dari ambang batas yang ditentukan. Strategi ini sejalan dengan pendekatan hemat energi dalam sistem pertanian presisi, sebagaimana dikembangkan dalam penelitian yang menekankan pentingnya kontrol berbasis ambang batas untuk efisiensi daya dan umur sistem [12].

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian sistem pada berbagai konfigurasi setpoint suhu dan ketinggian air.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Kontrol Suhu dan Air

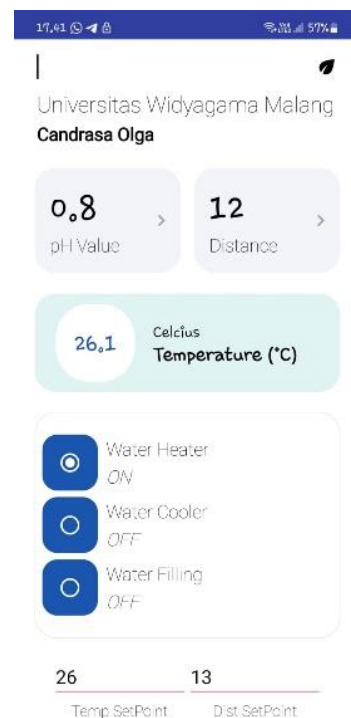
Set Tempera ture	Temper atur Air	Set Jar ak	Jar ak	Pema nas	Chill er	Pom pa
22	26	12	12	Off	On	Off
22	22	12	14	Off	Off	On
24	20	12	12	On	Off	Off
24	24	12	12	Off	Off	Off

Data sistem yang diperoleh kemudian dikirim secara *real-time* ke basis-data Firebase dan dapat dimonitor melalui aplikasi Android (Gambar 17 dan 18). Hasil ini menunjukkan kesesuaian sistem

dengan rancangan IoT berbasis arsitektur *publish/subscribe*, sebagaimana disarankan dalam studi yang menunjukkan bahwa arsitektur ini sangat sesuai untuk sistem dengan banyak node sensor [13].



Gambar 16. Logo Aplikasi



Gambar 17. Antarmuka Aplikasi

B. Pengujian Throughput

Pengujian throughput dilakukan menggunakan aplikasi Wireshark, dengan hasil sebesar 7753 Bps (62 kbps), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 19. Hasil ini menunjukkan kapasitas transmisi data dari NodeMCU V3 ke Firebase cukup kecil, namun masih berada dalam kisaran yang layak untuk aplikasi IoT yang bersifat low-data rate. Hasil ini konsisten dengan temuan penelitian, yang melaporkan bahwa sejumlah teknologi komunikasi dengan kecepatan transmisi rendah masih sesuai untuk sejumlah aplikasi *alternative farming* berbasis IoT [14].

Rumus perhitungan throughput digunakan sebagai berikut [15].

Throughput (bps) = jumlah data yang dikirim (bit) / waktu pengiriman (detik) (1)

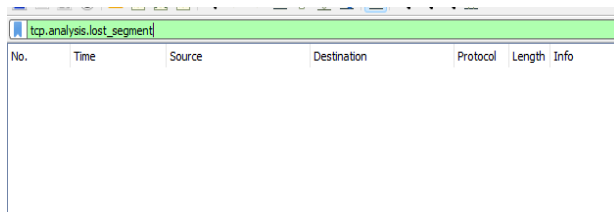
Statistics

Measurement	Captured
Packets	187
Time span, s	3.998
Average pps	46.8
Average packet size, B	166
Bytes	30996
Average bytes/s	7753
Average bits/s	62 k

Gambar 18. Pengujian Throughput via Wireshark

C. Pengujian Packet Loss

Pengujian packet loss dilakukan juga menggunakan Wireshark dengan filter tcp.analysis.lost_segment, yang menunjukkan nilai packet loss sebesar 0% (Gambar 20). Hasil ini menunjukkan koneksi yang stabil dan handal antara perangkat NodeMCU V3 dan layanan cloud Firebase. Hasil ini sejalan dengan hasil studi yang menemukan bahwa integrasi NodeMCU V3 dengan Firebase memiliki performa reliability tinggi dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT [16].

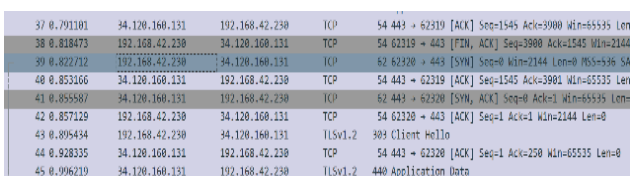


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
No packets are shown, indicating 0% packet loss for the filter tcp.analysis.lost_segment.						

Gambar 19. Pengujian Packet Loss

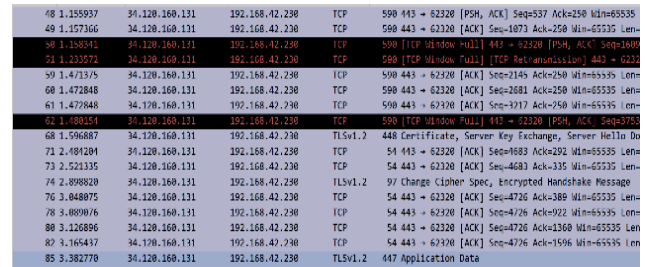
D. Pengujian Delay

Uji delay dilakukan untuk mengetahui kecepatan sistem dalam merespons data dari dan ke Firebase. Hasil rata-rata pengiriman data dari NodeMCU V3 ke Firebase adalah 0,197089 detik (197 ms), seperti terlihat pada Gambar 21, menunjukkan respons yang cepat dan konsisten. Namun, saat menerima data dari Firebase ke NodeMCU V3 (Gambar 22), didapati rata-rata delay sebesar 2,226883 detik (2227 ms), disebabkan oleh TCP Window Full dan proses retransmission.



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
37	0.791101	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62319 [ACK] Seq=1545 Ack=3900 Win=65535 Len=0
38	0.818473	192.168.42.230	34.120.160.131	TCP	54	62319 → 443 [FIN, ACK] Seq=3900 Ack=1545 Win=2144 Len=0
39	0.822732	192.168.42.230	34.120.160.131	ICP	62	62320 → 443 [SYN] Seq=0 Win=2144 Len=0 MSS=536 Sd=
40	0.853166	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62319 [ACK] Seq=1545 Ack=3901 Win=65535 Len=0
41	0.855587	34.120.160.131	192.168.42.230	ICP	62	443 → 62320 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0
42	0.857129	192.168.42.230	34.120.160.131	TCP	54	62320 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=2144 Len=0
43	0.895434	192.168.42.230	34.120.160.131	TLSv1.2	303	Client Hello
44	0.928335	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=1 Ack=200 Win=65535 Len=0
45	0.996219	34.120.160.131	192.168.42.230	TLSv1.2	440	Application Data

Gambar 20. Uji Delay NodeMCU V3 ke Firebase



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
46	1.155937	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	590	443 → 62320 [PSH, ACK] Seq=537 Ack=250 Win=65535 Len=0
49	1.157366	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	590	443 → 62320 [ACK] Seq=1073 Ack=250 Win=65535 Len=0
50	1.158341	34.120.160.131	192.168.42.230	ICP	590	[TCP Window Full] 443 → 62320 [PSH, ACK] Seq=1609
51	1.233571	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	690	[TCP Window Full] [TCP Retransmission] 443 → 62320
59	1.471375	34.120.160.131	192.168.42.230	ICP	590	443 → 62320 [ACK] Seq=2145 Ack=250 Win=65535 Len=0
60	1.472848	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	590	443 → 62320 [ACK] Seq=2681 Ack=250 Win=65535 Len=0
61	1.477648	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	590	443 → 62320 [ACK] Seq=1717 Ack=250 Win=65535 Len=0
62	1.700151	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	590	[TCP Window Full] 443 → 62320 [PSH, ACK] Seq=3735
68	1.596887	34.120.160.131	192.168.42.230	TLSv1.2	448	Certificate, Server Key Exchange, Server Hello Do
71	2.491201	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=1603 Ack=250 Win=65535 Len=0
72	2.521335	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=4683 Ack=335 Win=65535 Len=0
74	2.898828	34.120.160.131	192.168.42.230	TLSv1.2	97	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
76	3.848075	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=4726 Ack=389 Win=65535 Len=0
78	3.809076	34.120.160.131	192.168.42.230	ICP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=4726 Ack=922 Win=65535 Len=0
80	3.126896	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=4726 Ack=1360 Win=65535 Len=0
87	3.165437	34.120.160.131	192.168.42.230	TCP	54	443 → 62320 [ACK] Seq=4726 Ack=1596 Win=65535 Len=0
85	3.382778	34.120.160.131	192.168.42.230	TLSv1.2	447	Application Data

Gambar 21. Uji Delay Firebase ke NodeMCU V3

Nilai delay dari NodeMCU V3 ke Firebase di bawah 1 detik dikategorikan sangat baik untuk aplikasi pemantauan lingkungan secara *real-time*. Temuan ini mendukung hasil temuan penelitian bahwa sistem berbasis NodeMCU V3 dan Firebase mampu mengirimkan data sensor secara *real-time* dalam waktu < 500 ms dalam kondisi jaringan normal [17], [18].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, bisa disusun kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem monitoring dan kontrol hidroponik berbasis IoT yang dikembangkan berfungsi dengan baik dan sesuai rancangan, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.
2. NodeMCU V3 dan Arduino mampu membaca dan mengirimkan data parameter suhu, pH, dan ketinggian air secara real-time ke Firebase, dengan implementasi arsitektur publish/subscribe yang mendukung sistem berbasis banyak sensor.
3. Sistem otomatisasi berhasil mengaktifkan pemanas, chiller, dan pompa air secara otomatis berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan:
 - Pemanas aktif saat suhu < setpoint - 3°C
 - Chiller aktif saat suhu > setpoint + 3°C
 - Pompa aktif saat ketinggian air > ambang batas + 2 cm

Strategi ini mendukung prinsip efisiensi energi dalam pertanian presisi.

4. Hasil pengujian throughput menunjukkan kecepatan pengiriman data sebesar 7753 Bps (62 kbps), yang masih memadai untuk aplikasi IoT dengan low-data rate.
5. Nilai packet loss sebesar 0% menunjukkan bahwa komunikasi antara NodeMCU V3 dan Firebase stabil dan andal.
6. Delay rata-rata pengiriman data dari NodeMCU V3 ke Firebase tercatat sebesar 0,197 detik (197 ms), tergolong sangat baik untuk aplikasi real-

time. Sementara itu, delay dari Firebase ke NodeMCU V3 tercatat 2,226 detik (2227 ms), disebabkan oleh proses retransmisi, namun masih dapat ditoleransi untuk sistem monitoring non-kritis.

7. Sistem berhasil diintegrasikan dengan aplikasi Android yang menampilkan data secara real-time, sehingga mempermudah pemantauan dan pengendalian jarak jauh, serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas budidaya hidroponik modern.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pertanian, "Statistik Lahan Pertanian Tahun 2014-2018," Kementerian Pertanian, Jakarta, Indonesia, Pusat Data dan Informasi Pertanian, 2019.
- [2] I. S. Roidah, "Pemanfaatan Lahan dengan menggunakan Sistem Hidroponik," *Jurnal BONOROWO*, vol. 1, no. 2, pp. 43–49, 2015, doi: <https://doi.org/10.36563/bonorowo.v1i2.14>.
- [3] J. A. Asumadu, B. Smith, N. S. Dogan, P. A. Loretan, and H. Aglan, "Microprocessor-based instrument for hydroponic growth chambers used in ecological life support systems," in *Quality Measurement: The Indispensable Bridge between Theory and Reality (No Measurements? No Science! Joint Conference - 1996: IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference and IMEKO Tec*, Jun. 1996, pp. 325–329 vol.1. doi: 10.1109/IMTC.1996.507400.
- [4] M. F. Saaid, N. A. M. Yahya, M. Z. H. Noor, and M. S. A. M. Ali, "A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC)," in *2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 2013, pp. 328–332. doi: 10.1109/CSPA.2013.6530066.
- [5] D. Pancawati and A. Yulianto, "Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur Ph Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 278–289, 2016, doi: <https://doi.org/10.20449/jnte.v5i2.284>.
- [6] S. V. Devika, S. Khamuruddeen, S. Khamurunnisa, J. Thota, and K. Shaik, "Arduino Based Automatic Plant Watering System," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4, no. 10, pp. 449–456, 2014.
- [7] A. Y. H. Putra and W. S. Pambudi, "Sistem Kontrol Otomatis Ph Larutan Nutrisi Tanaman Bayam Pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique)," *Jurnal Ilmiah Mikrotek*, vol. 2, no. 4, pp. 11–20, 2017.
- [8] Y. Huang and H. Garcia-Molina, "Publish/Subscribe in a Mobile Environment," *Wireless Networks*, vol. 10, no. 6, pp. 643–652, Nov. 2004, doi: 10.1023/B:WINE.0000044025.64654.65.
- [9] V. A. Fragastia and I. F. Rahmad, "Penerapan Internet of Things (IoT) untuk Mendeteksi Kadar Alkohol pada Pengendara Mobil," 2019. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:202947862>
- [10] K. Hamami, M. Mukhsim, and D. Siswanto, "Prototipe Sistem Monitoring Biaya Penggunaan Listrik pada Rumah Kos berbasis IoT," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 1, no. 02, pp. 35–46, 2021, doi: 10.31328/jasee.v1i02.12.
- [11] Rayana Jaka Surya, Gigih Priyandoko, and Istiadi Istiadi, "Sistem Pemantau dan Kendali Tekanan Gas SF6 PMT Gardu Induk melalui IoT," *JETRI*, vol. 19, no. 2, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.25105/jetri.v19i2.10831>.
- [12] G. N. ALIVSKY, "Pengembangan Sistem Penjadwalan Pengisian Daya Baterai Dua Arah dengan Mempertimbangkan Tingkat SOC dan Harga Energi," Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2025. [Online]. Available: <https://digilib.itb.ac.id/assets/files/2025/VGhlc2lzIEdoaW9rIE5hbmlRhlIEFsaXZza3kgLSBBTElWU0tZiENlQU5ORUwgKDEpLnBkZg.pdf>
- [13] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [14] T. Qureshi, M. Saeed, K. Ahsan, A. A. Malik, E. S. Muhammad, and N. Touheed, "Smart Agriculture for Sustainable Food Security using Internet of Things (IoT)," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/9608394.
- [15] J. F. Kurose and K. W. Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach (7th Edition)*, 7th ed. Pearson, 2017.

-
- [16] U. Khairat, B. Basri, and W. A. Fakhurrozi, "Monitoring Suhu Ruang Budidaya Jamur Tiram menggunakan Android berbasis Arduino," *Technomedia Journal*, vol. 7, no. 1, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.33050/tmj.v7i1.1762>.
- [17] P. Ayeni and O. Adesoba, "IoT-based Home Control System using NodeMCU and Firebase," *Journal of Edge Computing*, Nov. 2024, doi: 10.55056/jec.814.
- [18] D. Siswanto, A. Farid, G. Priyandoko, and N. A. Wahyudi, "An IoT-Based Decision Support System for Real-Time Vehicle Maintenance Scheduling in the Fourth Industrial Revolution," in *2024 Beyond Technology Summit on Informatics International Conference (BTS-I2C)*, 2024, pp. 687–692. doi: 10.1109/BTS-I2C63534.2024.10942271.