

Perancangan dan Pembuatan Alat Sistem Monitoring Temperatur dan Kelembapan Greenhouse dengan Protokol ESP-NOW

Muhamad Iqbal, Liman Hartawan, Noviyanti Nugraha

Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. PH.H. Mustofa No.23, Kota Bandung, Jawa Barat 40124

Email: muhamad.iqbal@mhs.itenas.ac.id

Received 5 Juli 2024 | Revised 19 Agustus 2024 | Accepted 31 Agustus 2024

ABSTRAK

Pengelolaan greenhouse di daerah Agri Lembang sering kali menghadapi kendala dalam mengontrol temperatur dan kelembapan yang masih dilakukan secara manual. Penggunaan teknologi IoT, khususnya protokol ESP-NOW, dalam pengelolaan greenhouse di Agri Lembang dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian dengan otomatis memantau serta mengontrol temperatur dan kelembapan, sehingga mengatasi tantangan perubahan iklim dan meningkatkan hasil panen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sistem monitoring berbasis IoT menggunakan protokol ESP-NOW. Sistem ini mengkonsumsi arus sebesar 78,67 mA, memungkinkan operasi kontinu selama 24 jam. Komponen utama terdiri dari Wemos D1 Mini, DHT21, Baterai 18650, TP4056, dan DC-DC Step-Up 5V, yang ditempatkan dalam wadah PVC berdiameter 70 mm, dengan tinggi 55mm untuk tutup bawah, dan 30 mm untuk tutup atas, serta PCB titik bolong berukuran 75 mm x 57 mm x 1,65 mm. Hasil pengujian menunjukkan sistem ini tetap dapat mentransmisikan data pada jangkauan 30-45 meter meskipun dalam kondisi terhalang.

Kata kunci: Sistem Monitoring, ESP-NOW, Temperatur, Kelembapan, Green House.

ABSTRACT

The management of greenhouses in the Agri Lembang area often faces challenges in manually controlling temperature and humidity. The use of IoT technology, specifically the ESP-NOW protocol, in greenhouse management in Agri Lembang can enhance agricultural efficiency and productivity by automatically monitoring and controlling temperature and humidity, thereby addressing climate change challenges and improving crop yields. This research aims to design and create an IoT-based monitoring system using the ESP-NOW protocol. This system consumes a current of 78.67 mA, allowing continuous operation for 24 hours. The main components consist of the Wemos D1 Mini, DHT21, 18650 battery, TP4056, and DC-DC Step-Up 5V, which are housed in a PVC casing with a diameter of 70 mm, a height of 55 mm for the bottom cover, and 30 mm for the top cover, as well as a perforated PCB measuring 75 mm x 57 mm x 1.65 mm. Test results show that this system can still transmit data over a range of 30-45 meters even in obstructed conditions.

Keywords: Monitoring System, ESP-NOW, Temperature, Humidity, Greenhouse.

1. Pendahuluan

Pembangunan pertanian di masa mendatang akan terus dihadapkan pada berbagai tantangan, seperti penurunan luas lahan, perubahan iklim, dan kebutuhan untuk meningkatkan produksi pangan secara berkelanjutan [1]. Mengingat produksi pertanian di *greenhouse* sering terkendala oleh faktor lingkungan yang sulit dikontrol secara manual, seperti cuaca ekstrem, hama, dan kondisi di dalam *greenhouse* yang cenderung tidak stabil, penerapan sistem monitoring berbasis jaringan sensor nirkabel menjadi semakin krusial untuk mengatasi tantangan tersebut [2][3][4]. Kemajuan teknologi dan Internet of Things (IoT) meningkatkan efisiensi dan kualitas di sektor pertanian Indonesia dengan memungkinkan konektivitas alat melalui internet, sehingga penggunaan teknologi IoT dalam pertanian dapat menawarkan solusi efektif untuk berbagai tantangan, seperti meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 20% dan hasil panen hingga 15% [5][6]. Kecamatan Lembang terletak di kawasan dataran tinggi dengan lahan subur yang sebagian besar digunakan untuk pertanian [7]. Lokasi ini sangat relevan untuk penerapan teknologi yang dibangun. Terdapat penelitian terkait sistem monitoring sebagai pembaca data temperatur dan kelembapan dari sensor DHT11 lalu mengirimkannya ke mikrokontroler melalui jaringan ESP NOW [8]. Pengelolaan *greenhouse* di daerah Agri Lembang sering kali menghadapi tantangan dalam mengontrol temperatur dan kelembapan secara manual, terutama dengan ukuran Lembang Agri *Smart Greenhouse* sebesar 16 x 35 x 6 meter (lebar x panjang x tinggi). Alat pengukur temperatur dan kelembapan di Lembang Agri dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat pengukur Temperatur dan Kelembapan

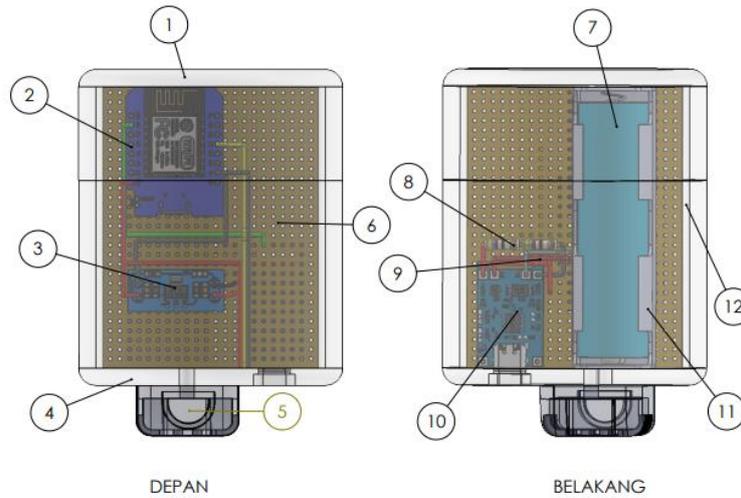
Oleh karena itu, penggunaan teknologi IoT, termasuk protokol ESP-NOW, di *greenhouse* Lembang Agri dapat membantu mengatasi masalah tersebut dengan meningkatkan efisiensi dan kualitas udara. Protokol ESP NOW merupakan konektivitas alat tanpa memerlukan akses internet [9]. Pada pengembangan ESP32 dari Espressif, protokol ini memungkinkan pengambilan data dari sensor dalam kondisi tanpa akses ke jaringan internet lokal, dengan jarak komunikasi yang memadai hingga 190 meter [10]. Pemanfaatan protokol ESP NOW pada *greenhouse* telah berhasil dilakukan oleh Wahyudi, (2021) [11]. Tujuan penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sistem monitoring berbasis IoT menggunakan protokol ESP-NOW. Untuk penerapan solusi teknologi yang dapat berguna dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman pada *greenhouse*.

2. Metodologi

2.1 Sistem Monitoring Temperatur dan Kelembapan

Alat ini mengukur temperatur dan kelembapan menggunakan sensor DHT21, yang memiliki akurasi pengukuran temperatur dengan toleransi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan toleransi pengukuran kelembapan $\pm 3\%$, sesuai dengan spesifikasi [12]. Data yang diukur oleh sensor kemudian dikirimkan ke Wemos D1 Mini (ESP8266), untuk diproses lebih lanjut. Tegangan baterai dipantau melalui pembagi tegangan yang terdiri dari dua resistor 100k, sehingga tegangan dapat dibaca dengan

aman oleh sistem. Alat ini dirancang dengan ukuran yang ringkas dan *portabel*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

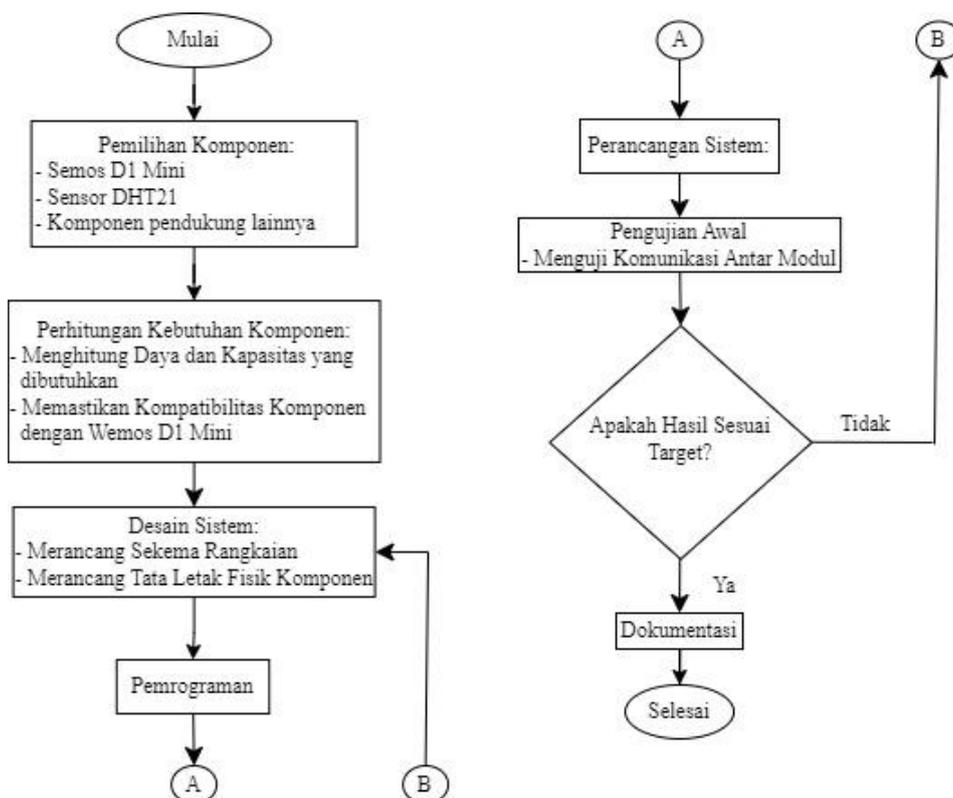


Gambar 2. Komponen Sistem Monitoring Temperatur Dan Kelembapan

Keterangan dari gambar 2 diatas adalah : 1. Tutup Atas, 2. Wemos D1 Mini, 3. Step-Up 5v, 4. Tutup Bawah, 5. Dht 21, 6. Pcb Titik Bolong, 7. Baterai 18650, 8. Resistor 100k, 9. Kabel Jumper, 10. Tp-4056 11. Holder Baterai 12. Pipa PVC 2”.

Dengan protokol ESP-NOW, yang nantinya data dapat dikirim nirkabel ke server atau aplikasi Blynk. Modul TP4056 mengatur pengisian baterai untuk memastikan daya stabil dan aman. Sistem IoT ini mencakup perancangan perangkat keras dan lunak, dengan Wemos D1 Mini yang dapat mengirim dan menerima data nirkabel menggunakan ESP-NOW, sehingga rangkaian lebih sederhana. Dengan kemampuan ESP-NOW, sistem ini mengurangi kebutuhan komponen tambahan dan mempermudah integrasi, menjadikannya solusi yang optimal untuk pemantauan temperatur dan kelembapan di *greenhouse*. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring lebih lanjut dengan menggunakan protokol ESP-NOW, berbeda dengan yang digunakan oleh Kalaivani et al. (2022), yang memanfaatkan NodeMCU dan GSM untuk monitoring dan kontrol [13].

Metodologi penelitian dimulai dari perancangan yang memerlukan data serta karakteristik sistem monitoring ini. Perancangan dimulai dari menentukan tipe mikrokontroler yang akan digunakan, menentukan konsep perancangan, menentukan bahan yang digunakan serta merancang yang meliputi *case* dari rangkaian, tutup atas, bawah, *case*, dll. Setelah diperoleh gambar rancangan kemudian dilakukan proses pembuatan dan pengujian fungsi alat sistem monitoring temperatur dan kelembapan. Parameter pengujian meliputi temperatur antar modul dan jarak yang dihasilkan. Flowchart metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Sistem monitoring temperatur dan kelembapan menggunakan protokol ESP NOW didapatkan komponen Wemos D1 Mini sebagai mikrokontroler dan sensor DHT21 yang dipilih. Konsumsi Wemos D1 Mini mengonsumsi daya sebesar 77,88 mA saat berada dalam mode aktif menurut Salvatore Lab, (2023) [14]. Asumsi Arus DHT21 mengonsumsi daya sebesar 1,5 mA saat aktif dan 0.05 mA saat standby, untuk mencari daya dari DHT21 didapatkan dengan persamaan berikut [15]:

$$I_{DHT\ 21} = \frac{(1\ detik\ aktif \times 1.5\ mAs) + (1\ detik\ siaga \times 0.05\ mAs)}{2\ s} = 0,775\ mA \quad (1)$$

Dari perhitungan diatas maka bisa mendapatkan total konsumsi daya yang diperlukan oleh komponen tersebut, serta akan ditambahkan 2 buah resistor 100kΩ untuk menurunkan tegangan yang akan masuk ke pin A0 dari Wemos D1 Mini dengan, 2 buah resistor akan dibagi dengan daya baterai 3,7V dengan hasil 0,0185 mA. Berikut total konsumsi arus :

$$I_{total} = 77,88\ mA + 0,775\ mA + 0,0185\ mA \quad (2)$$

$$I_{total} = 78,67mA \approx 0,07867\ A$$

Tujuan sistem bertahan selama 24 jam, menurut buku dari R. L. Boylestad and L. Nashelsky, (2009) [15] didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$C = I \times T \quad (3)$$

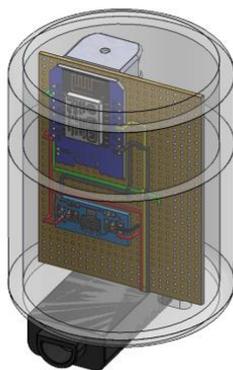
Di mana C adalah kapasitas baterai (dalam mAh), I adalah arus konsumsi rata-rata (dalam mA), dan T adalah waktu operasi yang diinginkan (dalam jam). Maka perhitungannya dibawah ini:

$$78,67\ mA \times 24\ jam = 1888,16\ mAh$$

Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan baterai dengan kapasitas minimal 2000 mAh.

2.2 Desain Sistem Monitoring Temperatur dan Kelembapan

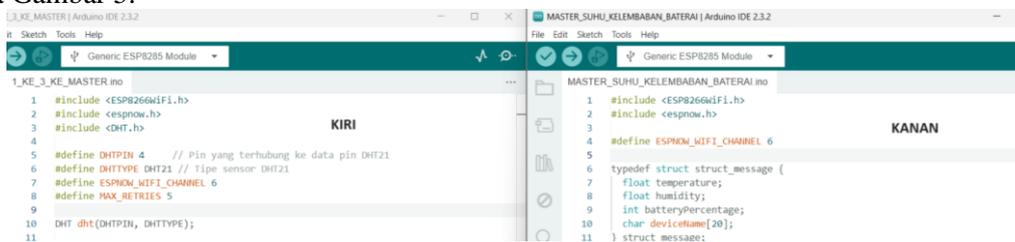
Alat ini dibuat dari bahan PVC, yang mencakup tutup atas dan bawah serta pipa. Untuk menyambungkan tutup dengan pipa, digunakan perekat PVC. Desain 3D alat ini dapat dilihat pada Gambar 4, sementara tata letak keseluruhan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 4. Desain 3D Alat Monitoring Temperatur Dan Kelembaban

2.3 Pemrograman Dengan protokol ESP NOW

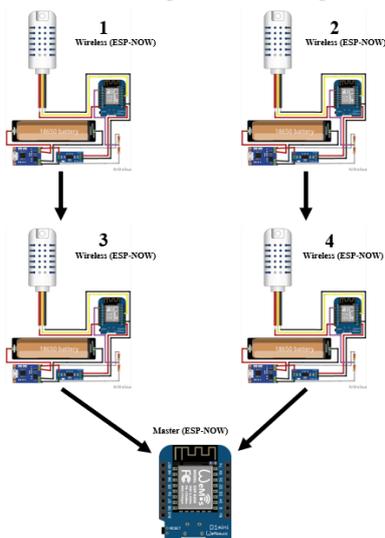
Pemrograman dilakukan menggunakan aplikasi Arduino IDE, dengan library yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemrograman dan Input Library

Keterangan gambar: Gambar 5 bagian kiri menunjukkan program untuk menerima dan mengirim data secara bersamaan, dengan menggunakan beberapa library, yaitu: `#include <ESP8266WiFi.h>`, `<espnow.h>`, dan `<DHT.h>`. Sementara itu, gambar 5 bagian kanan menunjukkan program dan library untuk penerima saja (Master), yang menggunakan `#include <ESP8266WiFi.h>`, dan `<espnow.h>`.

Metode pengiriman data dari setiap perangkat monitoring menggunakan protokol ESP-NOW, di mana perangkat-perangkat monitoring (sebagai pemancar) terhubung secara berantai dari lokasi yang jauh dari akses internet ke perangkat yang lebih dekat. Data akan dikumpulkan di mikrokontroler sebagai penerima (master), seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Metode Pengiriman Data

2.4 Pembuatan Alat

Pada tutup bawah alat, akan diberi 4 buah lubang: 3 berdiameter 4 mm untuk menyatukan sensor DHT21 melalui 2 buah baut dan 1 buah lubang untuk kabel, serta 1 buah lubang untuk charger. Dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tutup Bawah

Perakitan komponen, termasuk Wemos D1 Mini dan komponen pendukung lainnya, dilakukan pada PCB titik bolong dengan menggunakan timah yang disolder, seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perakitan Komponen

Bagian-bagian yang telah dibuat dirakit menjadi sebuah alat yang terlindung dari lingkungan sekitar, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Alat Sistem Monitoring

2.5 Spesifikasi Alat Sistem Monitoring

Spesifikasi alat yang telah dirancang dan dibuat diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rancangan Alat Sistem Monitoring

Komponen	Dimensi
Tutup Atas	Diameter Luar: 70 mm, Tinggi : 30 mm, Material: PVC
Tutup Bawah	Diameter Luar: 70mm, Tinggi : 55mm, Material: PVC
Pipa	Diameter Luar: 60 mm, Tinggi : 75 mm, Material: PVC
PCB Titik Bolong	Panjang: 75 mm, lebar: 57 mm, Tebal: 1,65 mm

2.6 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menguji fungsi dari alat sistem monitoring temperatur dan kelembapan yang telah dirancang. Parameter pengujian yaitu mencari seberapa jauh alat ini bisa berkomunikasi dan mengirimkan data ke setiap modul, dan menguji di temperatur mius. Alat ini diuji di lingkungan kampus yang dimana terdapat banyak mobil dikanan kiri yang terparkir. Pengujian ini dilakukan di siang hari selama 1,5 jam, dan digerakan oleh rekan untuk perpindahan jarak nya, hasil ini dipantau secara terus menerus selama pengujian berlangsung. Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat sistem monitoring temperatur dan kelembapan, meteran, laptop untuk memantau data yang diterima, dan Pastikan aplikasi Arduino IDE sudah terinstal di laptop.
2. Hubungan master ke laptop melalui kabel USB, dan buka Aplikasi Arduino IDE dan masukan program penerima (Master).
3. 2 buah modul, 1 pengirim, 1 penerima dan pengirim yang sudah di program sebelumnya dengan protokol ESP NOW.
4. Pengujian Koneksi:
 - Pastikan koneksi antara pengirim dan penerima berfungsi dengan baik sebelum pengujian dimulai.
 - Pantau data yang diterima di Master melalui Arduino IDE untuk melihat apakah data terus-menerus diterima atau ada pemutusan koneksi.
5. Pengujian Jarak:
 - Mulailah dengan menggerakkan modul pengirim secara perlahan menjauh dari modul Master.
 - Ukur jarak menggunakan meteran setiap kali pengirim dipindahkan.
 - Catat jarak di mana koneksi mulai terputus atau data tidak diterima dengan konsisten.
6. Pengujian pada Temperatur Ekstrem
 - pengujian pada temperatur minus dengan memasukkan modul pengirim ke dalam *freezer* atau lingkungan bertemperatur rendah.
7. Pantau alat secara terus-menerus selama pengujian berlangsung
8. Setelah pengujian selesai, matikan setiap alat nya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian

Pengujian alat sistem monitoring temperatur dan kelembapan dilakukan untuk mengukur jangkauan dan kinerja alat dalam berbagai kondisi lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dalam lingkungan terbuka dengan temperatur normal, alat dapat beroperasi dengan baik pada jarak 15 hingga 60 meter. Data diterima secara stabil tanpa gangguan, yang menunjukkan bahwa komunikasi ESP-NOW bekerja dengan optimal dalam kondisi ideal tanpa hambatan fisik. Data dapat dilihat pada gambar 10, yang menunjukkan data terkirim secara terus-menerus.

Tabel 2. Hasil Pengujian

NO	Jarak (Meter)	Kondisi Lingkungan	Data Diterima	Keterangan
1	15	Lingkungan terbuka, suhu normal	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
2	30	Lingkungan terbuka, suhu normal	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
3	45	Lingkungan terbuka, suhu normal	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
4	60	Lingkungan terbuka, suhu normal	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
5	15	Lingkungan dengan mobil terparkir	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
6	30	Lingkungan dengan mobil terparkir	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
7	45	Lingkungan dengan mobil terparkir	Ya	Koneksi mulai tidak stabil
8	60	Lingkungan dengan mobil terparkir	Tidak	Koneksi terputus
9	5	Didalam Rumah, dan suhu minus (freezer)	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik
10	10	Didalam Rumah, dan suhu minus (freezer)	Ya	Koneksi stabil, data diterima dengan baik



Gambar 10. Data Terlihat di Serial Monitor APK Arduino IDE

Namun, ketika alat diuji di lingkungan dengan hambatan fisik berupa mobil yang terparkir, kinerjanya mulai menurun. Pada jarak 15 hingga 45 meter, koneksi masih stabil dan data diterima dengan baik. Namun, pada jarak 60 meter, koneksi mulai tidak stabil dan akhirnya terputus, menunjukkan bahwa hambatan fisik dapat mengurangi jangkauan efektif alat ini. Koneksi yang tidak stabil ini menunjukkan bahwa sinyal mengalami gangguan dan perubahan yang tidak teratur, sehingga data tidak dapat ditransmisikan dengan lancar. Jarak pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Dokumentasi Jarak

Selain itu, pengujian dilakukan pada suhu rendah di dalam ruangan menggunakan *freezer* untuk mensimulasikan kondisi temperatur ekstrem. Dalam pengujian ini, alat tetap berfungsi dengan baik pada jarak 5 hingga 10 meter, dengan koneksi yang stabil dan data yang diterima dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa alat masih dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi temperatur rendah, meskipun pengujian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan kinerjanya dalam jangka waktu yang lebih lama atau pada temperatur yang lebih ekstrem. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12 melalui tampilan serial monitor saat pengujian berlangsung.

```
09:05:48.203 -> Received data from: EC:64:C9:84:F7:D4
09:05:48.203 -> Device Name: Sensor 2
09:05:48.203 -> Temperature: -0.30
09:05:48.203 -> Humidity: 80.60
09:05:48.343 -> Received data from: EC:64:C9:84:F7:D4
09:05:48.390 -> Device Name: Sensor 4
09:05:48.390 -> Temperature: 25.00
09:05:48.390 -> Humidity: 76.00
```

Gambar 12. Data di serial monitor saat pengujian di temperatur Ekstrem

Secara keseluruhan, alat ini menunjukkan performa yang memadai dalam kondisi lingkungan terbuka dan temperatur normal, serta tetap berfungsi dalam kondisi lingkungan yang lebih menantang, meskipun terjadi penurunan jangkauan efektif saat ada hambatan fisik atau temperatur rendah. Dengan ukuran Lembang Agri *Smart Greenhouse* sebesar 16 x 35 x 6 meter (lebar x panjang x tinggi), pengujian alat ini menunjukkan performa yang cukup baik untuk mencakup seluruh area greenhouse tersebut. Alat ini dapat berfungsi dengan baik dalam jangkauan hingga 45 meter. Namun, untuk memastikan koneksi yang stabil di seluruh area greenhouse, terutama jika terdapat hambatan fisik, mungkin diperlukan penyesuaian posisi alat.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari perancangan dan pembuatan alat sistem monitoring temperatur dan kelembapan *greenhouse* menggunakan protokol ESP-NOW menunjukkan bahwa sistem ini lebih efektif dibandingkan dengan alat sebelumnya, sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Alat ini memanfaatkan sensor DHT21 yang terhubung dengan mikrokontroler Wemos D1 Mini untuk mengukur dan mengirimkan data temperatur serta kelembapan secara nirkabel. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pengukuran temperatur dengan toleransi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan dengan

toleransi $\pm 3\%$. Penggunaan protokol ESP-NOW memungkinkan transmisi data hingga jangkauan 25 meter dalam kondisi terhalang oleh case atau kotak pelindung, sebagaimana dilaporkan oleh Arofah et al. [16]. Namun, pengujian menunjukkan bahwa alat ini masih dapat beroperasi dengan baik dalam jangkauan 30-45 meter, meskipun terdapat banyak mobil yang terparkir di sekitarnya, menunjukkan fleksibilitas alat dalam berbagai kondisi lingkungan. Jika jarak komunikasi melebihi jarak optimal, gangguan atau pemutusan komunikasi dapat terjadi. Konsumsi daya yang rendah dari Wemos D1 Mini memungkinkan alat ini beroperasi terus-menerus dengan total konsumsi daya sekitar 78,67 mA atau 0,07867 A. Desain alat yang ringkas dan *portabel*, menggunakan material PVC dengan tutup atas dan bawah berdiameter 70 mm dan tinggi masing-masing 30 mm serta 55 mm, memastikan alat terlindung dari kondisi lingkungan luar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam mengukur dan mengirim data pada berbagai kondisi lingkungan di greenhouse.

5. Daftar Pustaka

- [1] F. Djufry, E. Pasandaran, B. Irawan, and M. Ariani, Eds., *Manajemen Sumber Daya Alam dan Produksi Mendukung Pertanian Modern*, Bandar Lampung, Indonesia: Darmajaya Repository, 2020.
- [2] G. M. Bonde, D. P. M. Ludong, dan M. E. I. Najooan, "Smart Agricultural System in Greenhouse based on Internet of Things for Lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 9-16, Jan. 2021.
- [3] M. Rahmat, M. Anwari, and T. Subekti, "Sistem Kontrol Intensitas Cahaya, Temperatur, dan Kelembapan Udara pada Greenhouse Berbasis IoT," *Neliti*, 2019.
- [4] D. Intan Af'idah, A. F. Rochim, and E. D. Widiyanto, "Perancangan Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) untuk Memantau Suhu dan Kelembaban Menggunakan nRF24L01+," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 2, no. 4, pp. 1-12, Okt. 2014.
- [5] G. H. Sandi and Y. Fatma, "Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 1, Institut Teknologi Nasional Malang, 2023.
- [6] B. Haryanto, S. Supriyadi, and R. Rachmawati, "Penerapan Teknologi IoT untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Air di Pertanian," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 9, no. 1, pp. 45-52, 2018.
- [7] M. Finda, "Implementasi IoT pada Sistem Monitoring dan Kontrol Greenhouse," *Unikom Repository*, 2019.
- [8] A. Ardiyansyah and E. Sutrisno, "Pengembangan Sistem Monitoring dan Kontrol Greenhouse Berbasis IoT dengan Protokol ESP-NOW," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 89-98, 2020.
- [9] Espressif Systems, *ESP-NOW API Guide*, Espressif Documentation, 2023.
- [10] R. Pasic, I. Kuzmanov, and K. Atanasovski, "ESP-NOW communication protocol with ESP32," *Journal of Universal Excellence*, vol. 6, no. 1, pp. 53-60, 2021.
- [11] T. Wahyudi and D. Kusnandar, "Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Greenhouse Berbasis IoT dengan Sensor DHT22," *Jurnal Tecnoscienza*, vol. 10, no. 2, pp. 134-142, 2021.

- [12] Kuongshun, "DHT21 AM2301 Kapasitif Digital," Kuongshun.
- [13] C. T. Kalaivani et al., "Sistem Monitoring dan Kontrol Lingkungan untuk Greenhouse Menggunakan NodeMCU dan GSM," in *2022 8th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)*, 2022.
- [14] Salvatore Lab, "Wemos D1 Mini Deep Sleep Current Draw," 2023.
- [15] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 11th ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2009.
- [16] M. F. Arofah, E. Mandayatma, and S. Nurcahyo, "Penerapan Protokol Komunikasi ESP-Now pada Portable Traffic Light," *Jurnal Elkolind*, vol. 10, no. 1, pp. 52-59, Mei 2023.