

Perancangan Sistem Pengukuran Kualitas Udara Dan Lingkungan Pada Solar Autonomous Boat Sebagai Bagian Dari Teknologi Swarm USV

1st Marvel Cristo Damanik
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

marveldmk@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

denny.darlis@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartaman
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

arishartaman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Danau merupakan sumber daya air vital yang berperan penting dalam kehidupan manusia, namun kualitas lingkungan perairan dan sekitarnya terus menurun akibat aktivitas manusia seperti polusi udara dan air. Menurut WHO, 99% populasi dunia menghirup udara tercemar, dengan polusi udara menyebabkan 7 juta kematian dini per tahun, terutama akibat emisi gas berbahaya seperti CO dan CO₂. Untuk mengatasi keterbatasan sistem pemantauan konvensional yang statis dan mahal, penelitian ini merancang sistem pengukuran kualitas udara dan lingkungan berbasis *Solar Autonomous Boat* sebagai bagian dari teknologi *swarm* USV. Sistem ini mengintegrasikan sensor DHT22 (suhu, kelembapan), MQ-135 (CO, CO₂, NH₄), BH1750 (cahaya), CJMCM-GUVA-S12SD (UV), dan FC-37 (hujan) dengan Arduino Nano V3 sebagai pengendali utama, serta TTGO LoRa32 OLED untuk transmisi data via LoRa. Pengujian di Danau Situ Tekno menunjukkan sistem berhasil mengukur parameter lingkungan secara cepat, seperti suhu (26,2–32,1°C), kelembapan (55,6–79,6%), intensitas cahaya (17,19–17.066,4 lux), konsentrasi gas (CO: 0,12–13.296,8 ppm; CO₂: 0,34–1.040,43 ppm) dan indeks UV (0–33,36). Hasil ini membuktikan sistem mampu menjadi solusi dinamis, hemat energi, dan efektif untuk pemantauan lingkungan perairan.

Kata kunci— *Solar Autonomous Boat*, kualitas udara, sensor lingkungan, Arduino Nano, LoRa, *swarm* USV.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Danau merupakan sumber daya air yang penting bagi kehidupan manusia, seperti untuk air minum, irigasi, perikanan, pariwisata, dan mendukung ekosistem alami [1]. Namun, beberapa tahun terakhir, kualitas lingkungan perairan menurun akibat aktivitas manusia seperti pembuangan limbah, penggunaan pestisida, serta pencemaran udara dan air. Menurut *World Health Organization* (WHO), 99% populasi dunia menghirup udara tercemar, dan sekitar 7 juta orang meninggal dini setiap tahun akibat polusi udara [2]. Polusi ini umumnya berasal dari transportasi, industri, dan pembangkit listrik yang menghasilkan zat berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara sangat penting.

Selama ini, pemantauan lingkungan dilakukan secara manual atau dengan alat stasioner. Beberapa penelitian telah menggunakan mikrokontroler dan sensor seperti MQ-135 untuk gas, BH1750 untuk cahaya, dan DHT22 untuk suhu dan kelembapan. Misalnya, Arif Johar Taufiq dari Universitas Muhammadiyah Purwokerto mengembangkan sistem monitoring kualitas udara secara real-time di perkotaan [3]. Namun, sistem tersebut bersifat

statis, hanya mencakup satu titik, dan kurang efektif untuk wilayah dinamis seperti perairan terbuka. Selain itu, alat komersial untuk pemantauan biasanya mahal dan kurang fleksibel untuk area luas.

Sebagai solusi, penggunaan *Unmanned Surface Vehicle* (USV) atau kapal permukaan tanpa awak menjadi sangat relevan. USV mampu bergerak secara otomatis di permukaan air untuk mengumpulkan data lingkungan secara langsung dan menyeluruh tanpa kehadiran manusia. Dengan konsep *swarm* USV, yaitu koordinasi banyak kapal, cakupan pemantauan bisa diperluas dan operasional menjadi lebih efisien [4]. Penelitian ini merancang sistem pemantauan kualitas udara dan lingkungan berbasis USV bertenaga surya (*solar autonomous boat*), yang menggabungkan sensor suhu, kelembapan, gas, cahaya, hujan, dan radiasi UV dalam satu sistem bergerak. Sistem ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan metode sebelumnya yang statis, mahal, dan belum terintegrasi.

Penelitian ini menjadi penting karena meningkatnya kebutuhan akan sistem pemantauan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, terutama di wilayah perairan yang rentan tercemar oleh aktivitas manusia. Dengan energi surya, sistem ini juga lebih hemat energi dan mendukung keberlanjutan. Data yang dikumpulkan dapat menjadi dasar dalam kebijakan lingkungan dan konservasi danau. Oleh karena itu, penelitian ini mendukung pengembangan teknologi lingkungan cerdas berbasis IoT dan robotik, serta memberikan kontribusi nyata dalam penerapan teknologi *swarm* USV di Indonesia.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Merancang sistem pengukuran kualitas udara dan lingkungan yang mampu mengukur parameter suhu, kelembapan, kualitas udara, intensitas cahaya, deteksi hujan, dan indeks UV menggunakan Arduino Nano V3.
2. Mengintegrasikan seluruh sensor ke dalam satu sistem untuk diimplementasikan pada kendaraan otonom seperti *Solar Autonomous Boat*.
3. Menguji sistem dalam kondisi nyata untuk memastikan akurasi pengukuran, keandalan komunikasi data, dan kemampuan operasional sistem di lingkungan perairan terbuka.

II. KAJIAN TEORI

A. *Solar Autonomous Boat* sebagai *Platform* Monitoring

Solar Autonomous Boat adalah perahu tanpa awak yang menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi utama untuk bergerak secara otomatis dari satu titik ke titik lainnya tanpa campur tangan manusia. Perahu ini dilengkapi dengan solar board, yaitu

papan yang memiliki panel fotovoltaik untuk menangkap energi matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan sistem perahu [5].

B. *Swarm Unmanned Surface Vehicle (USV)*

Swarm USV adalah sistem kendaraan permukaan tak berawak (USV) yang terdiri dari beberapa unit yang bekerja bersama dengan algoritma kendali swarm, seperti metode leader-follower. Sistem ini memungkinkan misi lebih efisien, cakupan lebih luas, dan penghematan energi melalui koordinasi antar USV, serta cocok untuk aplikasi seperti eksplorasi laut dan investigasi lingkungan [6].

C. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor yang bisa membaca suhu dan kelembaban relatif. Sensor DHT22 menggunakan kapasitor dan termistor untuk mengukur udara di sekitarnya dan keluar sinyal melalui pin data [7].

D. Sensor MQ-135

Sensor Gas adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa NH_4 , alkohol, asap (CO), dan CO_2 . Sensor Udara pada umumnya bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistensi (analog) bila terkena gas. Sensor ini biasanya memiliki daya tahan yang baik untuk penggunaan penanda bahaya polusi karena praktis dan tidak memakan daya yang besar. Penyesuaian sensitifitas sensor ditentukan oleh nilai resistensi dari sensor ini biasanya berbeda-beda untuk berbagai konsentrasi gas. Satuan dari gas adalah ppm (part per million) [8].

E. Sensor BH1750

Sensor intensitas cahaya adalah sensor yang digunakan untuk mengukur lux sebuah cahaya, sensor ini biasanya dapat mengukur intensitas cahaya dalam range 1 – 65535 lux. Lux adalah satuan yang tingkat kecerahan yang diterima (terpapar) akibat adanya sumber cahaya [9].

F. Sensor hujan (FC-37)

Sensor hujan adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi hujan atau adanya cuaca hujan yang berada di sekitarnya, sensor ini dapat digunakan sebagai switch, saat adanya tetesan air hujan yang jatuh melewati raining board yang terdapat pada sensor [10].

G. Sensor UV (CJMCU-GUVA-S12SD)

GUVA-S12SD adalah detektor UV yang hanya mendeteksi cahaya dari 240nm hingga 370nm yang merupakan spektrum UV-B dan sebagian besar UV-A. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur Indeks UV yang menyediakan skala untuk menentukan seberapa kuat sinar UV matahari dan tindakan perlindungan apa yang harus diambil [11].

H. Mikrokontroler Arduino Nano V3

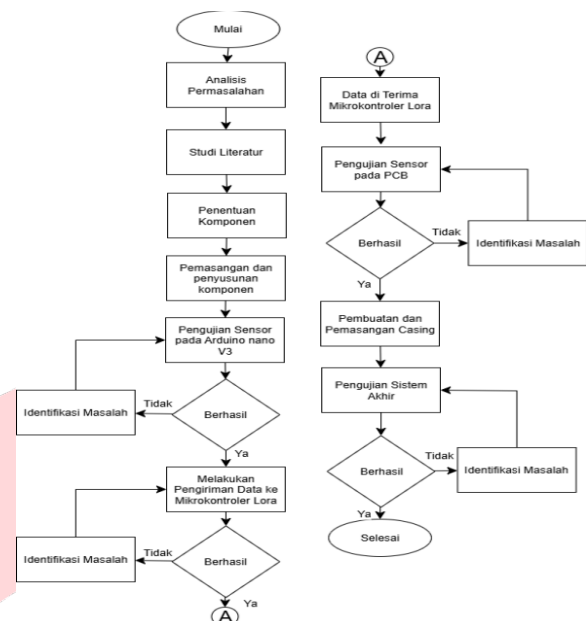
Arduino Nano V3 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang ringkas dan kuat, dirancang untuk mendukung aplikasi elektronika yang membutuhkan ukuran kecil dan kemampuan yang andal. Dengan fitur-fitur canggih dan desain yang kompak, Arduino Nano V3 menjadi pilihan sempurna untuk pengembangan prototipe dan proyek DIY [12].

III. METODE

A. Perancangan Sistem

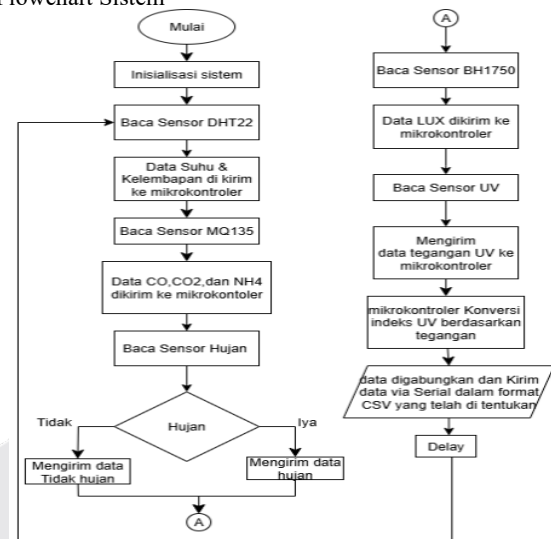
Proses perancangan sistem dimulai dengan analisis permasalahan untuk mengidentifikasi kebutuhan, kendala, dan tujuan, dilanjutkan dengan studi literatur guna menentukan metode dan komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan perangkat pendukung. Setelah komponen ditentukan, dilakukan perakitan dan pengujian sensor menggunakan Arduino Nano V3. Jika berhasil, data dikirim ke mikrokontroler LoRa dan diuji kembali pada sistem berbasis PCB. Setelah itu, dilakukan pembuatan casing untuk

melindungi perangkat, lalu sistem diuji secara menyeluruh. Jika semua tahap berhasil tanpa kendala, maka proses perancangan sistem dinyatakan selesai.



GAMBAR 1
Alur Perancangan Sistem

2. Flowchart Sistem



GAMBAR 2
Flowchart Sistem

Sistem monitoring cuaca dan kualitas udara ini menggunakan mikrokontroler untuk membaca data secara real-time dari sensor suhu, kelembapan, gas, hujan, cahaya, dan UV. Data yang dikonversi dalam format CSV dikirim melalui komunikasi serial ke TTGO LoRa32 OLED dalam siklus otomatis yang berulang setiap jeda waktu tertentu..

C. SKENARIO PENGUJIAN

Pengujian sistem dilakukan di Danau Situ Tekno, Telkom University, sebanyak tiga kali sehari (pagi, siang, sore) dengan jalur pergerakan kapal USV bertena surya membentuk angka "8" di tepian danau. Sistem secara otomatis mencatat data lingkungan setiap 1 detik untuk menganalisis variasi kondisi udara dan lingkungan secara waktu dan lokasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sensor pada Kapal

Gambar di bawah menunjukkan peletakan sensor kualitas udara dan lingkungan pada bagian depan kapal USV.



GAMBAR 3
Tampilan Letak Sensor pada Kapal

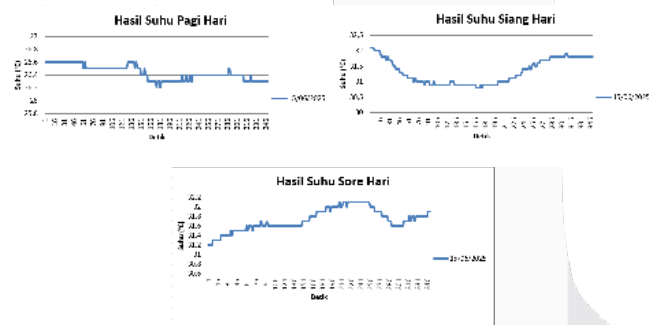
B. Hasil Implementasi Sensor pada Kapal di danau



GAMBAR 4
Implementasi Sensor di Danau Situ Tekno

Gambar di atas menunjukkan implementasi sensor kualitas udara di danau situ tekno

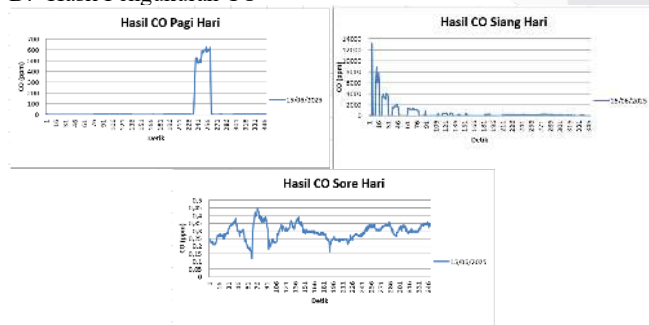
C. Hasil Pengukuran Suhu



GAMBAR 5
Hasil Pengukuran Suhu

Hasil menunjukkan bahwa suhu di Danau Situ Tekno naik turun sepanjang hari. Suhu paling rendah 26,2 °C terjadi di pagi hari, lalu naik hingga 32,1 °C saat siang dan sore.

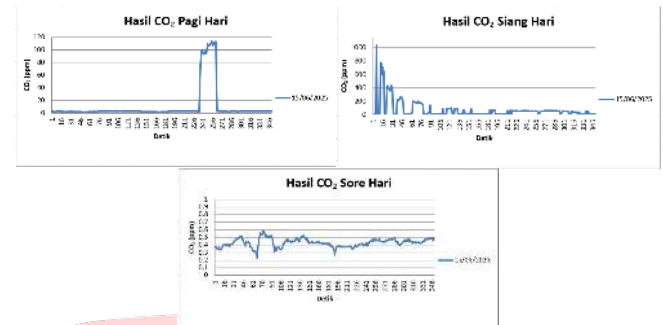
D. Hasil Pengukuran CO



GAMBAR 6
Hasil Pengukuran CO

Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi gas CO di sekitar Danau Situ Tekno berubah-ubah. Nilai tertinggi tercatat 13.296,8 ppm pada

pukul 12:03:58, dan yang terendah 0,12 ppm pada pukul 12:08:54. Ini menunjukkan bahwa kadar CO bervariasi selama pengukuran. Tanya ChatGPT

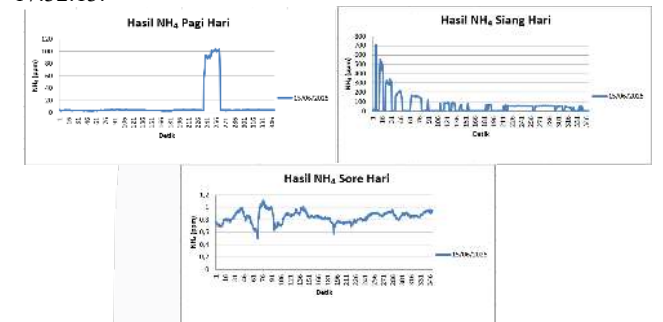
E. Hasil Pengukuran CO₂

GAMBAR 7
Hasil Pengukuran CO₂

Hasil menunjukkan bahwa kadar CO₂ dengan nilai tertinggi tercatat 1.040,43 ppm pada pukul 12:03:58, dan terendah 0,34 ppm pada pukul 17:32:12.

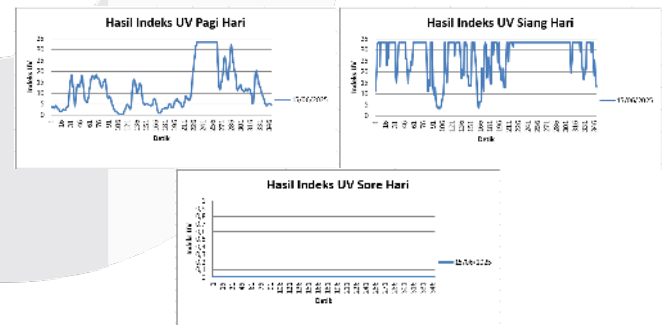
F. Hasil Pengukuran NH₄

Grafik menunjukkan kadar NH₄ nilai tertinggi tercatat 709,64 ppm pada pukul 12:03:58, dan yang terendah 0,49 ppm pada pukul 17:32:13.



GAMBAR 8
Hasil Pengukuran NH₄

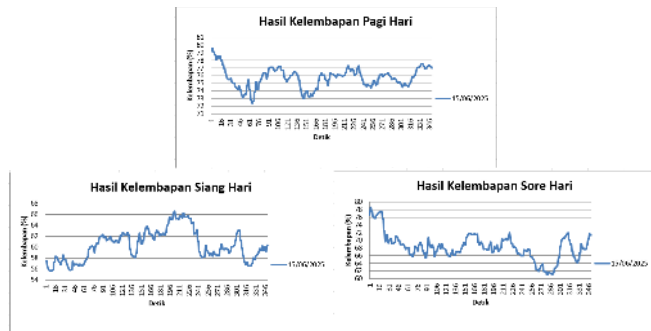
G. Hasil Pengukuran Indeks UV



GAMBAR 9
Hasil Pengukuran Indeks UV

Hasil grafik menunjukkan bahwa indeks UV dengan nilai paling tinggi sebesar 33,36 pada pagi sampai siang, lalu turun menjadi 0 di sore hari.

H. Hasil Pengukuran Kelembapan



GAMBAR 10

Hasil Pengukuran Kelembapan

Hasil pengukuran kelembapan udara di sekitar Danau Situ Tekno menunjukkan penurunan yang konsisten dari pagi hingga siang hari. Nilai tertinggi tercatat 79,6% pada pukul 07:59:48, sedangkan nilai terendah 55,6% saat suhu tinggi dan matahari terik.

I. Hasil Pengukuran Deteksi Hujan

Selama pengukuran di Danau Situ Tekno, tidak terdeteksi hujan. Sensor menunjukkan cuaca tetap kering atau cerah sepanjang hari.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, sistem pengukuran kualitas udara dan lingkungan pada *Solar Autonomous Boat* berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem ini mampu mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, kualitas udara (CO , CO_2 , NH_4), intensitas cahaya, indeks UV, serta mendeteksi hujan secara cepat dengan menggunakan Arduino Nano V3 sebagai pengendali utama. Seluruh sensor terintegrasi dalam satu sistem yang kompak dan efektif, dengan data yang berhasil dikirim melalui komunikasi serial ke TTGO LoRa32 OLED untuk transmisi lebih lanjut. Pengujian lapangan di Danau Situ Tekno menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi nyata, dengan data yang mencerminkan variasi lingkungan sepanjang hari, seperti fluktuasi suhu ($26,2^\circ\text{C}$ – $32,1^\circ\text{C}$), kelembapan (55,6%–79,6%), konsentrasi gas (CO : 0,12–13.296,8 ppm; CO_2 : 0,34–1.040,43 ppm; NH_4 : 0,49–709,64 ppm), serta perubahan intensitas cahaya (17,19–17.066,4 lux) dan indeks UV (0–33,36). Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi lingkungan danau, sekaligus memenuhi tujuan penelitian dalam menciptakan alat pemantauan yang dinamis dan terintegrasi. Dengan kemampuannya tersebut, sistem ini tidak hanya mengatasi keterbatasan metode pemantauan statis konvensional, tetapi juga memberikan solusi efisien dan berkelanjutan untuk pemantauan lingkungan perairan, serta dapat menjadi dasar bagi analisis konservasi dan pengambilan kebijakan berbasis teknologi.

REFERENSI

REFERENSI.

- [1] Asnila, K. Mudikdjob, S. Hardjoamidjojoc dan A. Ismail, "Analisis Kebijakan Pemanfaatan Sumber Daya Danau yang Berkelanjutan (Studi Kasus Danau Maninjau, Sumatera Barat)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 1-9, Juli 2013.
- [2] Betapramestiasia, "Kualitas Udara: Pengertian, Jenis, Efek, dan Solusi," *Advanced Analytics Laboratories*, Jul. 30, 2023. [Online]. <https://lab.id/pengertian-kualitas-udara/>.
- [3] A. J. Taufiq, L. Hayat, B. Muchtasjar, Iskahar, D. G. Romandolo, dan R. B. Amarudin, "Sistem Monitoring Polusi Udara Berbasis Sensor MQ-135 untuk Deteksi Gas CO_2 dan CO : Studi Kasus di Lingkungan Perkotaan," *TECHNO*, vol. 25, no. 2, pp. 131-138, Okt. 2024.
- [4] "Sistem komunikasi autonomous boat dan ground control station guna mendukung penelitian autonomous fish feeder swarm boat di Laboratorium Inacos Universitas Telkom," *eProceeding of Applied Science*, vol. 9, no. 1, p. 297–305, 2023.
- [5] M. U. Sikandar, P. Pathak, dan M. A. Mundekkatt, "Sailing Toward Sustainable Horizons: A Case Study of a Solar-Powered Boatyard's Business Model Canvas," *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 14, no. 1, pp. 1-13, 2024.
- [6] J.-H. Lee, S.-K. Jeong, D.-H. Ji, H.-Y. Park, D.-Y. Kim, K.-B. Choo, D.-W. Jung, M.-J. Kim, M.-H. Oh, dan H.-S. Choi, "Unmanned Surface Vehicle Using a Leader-Follower Swarm Control Algorithm," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, p. 3120, 2023.
- [7] H. Apriandi, I. M. S. Wibawa, dan I. G. A. Kasmawan, "Rancangan Alat Ukur Suhu dan Kelembapan Udara Menggunakan Mikrokontroler ATmega 328P," *Buletin Fisika*, vol. 23, no. 1, pp. 12–18, Feb. 2022.
- [8] B. Satria, H. Alam, and Rahmaniari, "Desain Alat Ukur Pencemaran Udara Portabel Berbasis Sensor MQ-135 dan MQ-7," in *Proc. ESCAF 2nd 2023*, pp. 1278-1285, 2023.
- [9] Suryana, "Measuring Light Intensity Using the BH1750 Sensor," *Repository UNIKOM*, 2021. [Online]. Available: <https://repository.unikom.ac.id/74379/>.
- [10] M. Y. Mustar dan R. O. Wiyagi, "Implementasi sistem monitoring deteksi hujan dan suhu berbasis sensor secara real-time," *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 20, no. 1, pp. 20-28, 2017.
- [11] M. F. Irsad, Rancang Bangun Alat Pengukuran Radiasi Sinar Ultraviolet dan Radiasi Matahari Berbasis IoT, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Listrik D-III, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, 2023.
- [12] KMTE 115, "NANO V3 ATMEGA328P-PU 5V ARDUINO NANO," KMTE 115, [Online]. Available: <https://dashboard.kmte115unitel.com/product/nano-v3-atmega328p-pu-5v-arduino-nano-atmega328-tanpa-kabel-data-mini-usb/>.

