

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI KOMUNIKASI LoRa DALAM
SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI
LINGKUNGAN KAMPUS POLITEKNIK NEGERI
BALI**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

I Putu Angga Prayoga Sahputra

NIM. 2115344041

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Polusi udara menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang berdampak langsung terhadap kesehatan manusia, terutama akibat paparan partikulat PM_{2.5} dan PM₁₀. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kualitas udara portabel berbasis LoRa dan Internet of Things (IoT) yang mampu mengukur parameter PM_{2.5}, PM₁₀, suhu, kelembapan, dan tekanan udara di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bali. Sistem terdiri dari tiga node pengukuran, di mana dua node berfungsi sebagai pengirim data dan satu main node sebagai penerima, menggunakan metode komunikasi LoRa request-response berantai untuk pengiriman data secara efisien. Data yang terkumpul ditampilkan secara real-time dan historis pada dashboard ThingsBoard serta disimpan di Google Spreadsheet. Hasil pengujian selama empat hari menunjukkan bahwa kualitas udara di lingkungan kampus umumnya berada pada kategori *Baik* hingga *Sedang* berdasarkan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), dengan PM_{2.5} sebagai parameter dominan. Sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui penambahan jumlah node, peningkatan frekuensi pengambilan data, integrasi fitur monitoring konsumsi daya, dan penerapan perhitungan ISPU otomatis untuk mendukung pemantauan lingkungan berskala luas.

Kata kunci: IoT, ISPU, Kualitas Udara, LoRa, PM₁₀, PM_{2.5}, ThingsBoard.

ABSTRACT

Air pollution is one of the major environmental issues that directly impacts human health, particularly due to exposure to particulate matter $PM_{2.5}$ and PM_{10} . This study aims to develop a portable air quality monitoring system based on LoRa and the Internet of Things (IoT) capable of measuring $PM_{2.5}$, PM_{10} , temperature, humidity, and air pressure within the Politeknik Negeri Bali campus environment. The system consists of three measurement nodes, where two nodes function as data transmitters and one main node as the receiver, utilizing a chained request-response LoRa communication method for efficient data transmission. Collected data is displayed in real time and stored historically on the ThingsBoard dashboard and Google Spreadsheet. Four days of testing revealed that the campus air quality generally falls within the Good to Moderate categories based on the Air Pollution Standard Index (ISPU), with $PM_{2.5}$ identified as the dominant parameter. This system has the potential for further development by increasing the number of nodes, improving data acquisition frequency, integrating power consumption monitoring, and implementing automated ISPU calculations to support large-scale environmental monitoring.

Keywords: *Air Quality, IoT, ISPU, LoRa, $PM_{2.5}$, PM_{10} , ThingsBoard.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Mikrokontroler.....	6
2.2.2 Sensor PMS5003.....	7
2.2.3 Modul LoRa RFM95W.....	8
2.2.4 Sensor BME280.....	9
2.2.5 Panel Surya (Modul <i>Fotovoltaik</i>)	10
2.2.6 Thingsboard.	12
2.2.7 Ventilasi Louver.....	12
2.2.8 Modul RTC DS1307	14
2.2.9 Received Signal Strength Indicator (RSSI)	14
2.2.10 Golongan Data Polutan.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Rancangan Sistem.....	19
3.2.1 Blok Diagram.....	19
3.2.2 Skema Rangkaian Perangkat	20

3.2.3	Skema Rangkaian Daya	23
3.2.4	Desain Perangkat	24
3.2	Implementasi Sistem.....	27
3.2.1	Point-to-Point Request-Response Berantai.....	27
3.3	Pengolahan Data dan Analisis.....	30
3.4	Hasil yang Diharapkan.....	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Hasil Implementasi Sistem	33
4.1.1	Implementasi Alat	33
4.1.2	Implementasi Website (<i>demo.thingsboard</i>).	38
4.1.3	Implementasi Penyimpanan Data	39
4.2	Hasil Dan Pengujian Sistem	39
4.2.1	Pengujian Website (<i>demo.thingsboard</i>)	40
4.2.2	Pengujian Penyimpanan Data	41
4.2.3	Pengujian <i>Request Response Point to Point</i> LoRa	42
4.2.4	Pengujian Parameter-Parameter yang Diamati	43
4.3	Pembahasan Hasil Implementasi dan Pengujian	44
4.3.1	Analisis Implementasi Sistem.....	44
4.3.2	Analisis Hasil Pengujian Sistem	46
4.3.3	Analisis Perbandingan Hasil Terhadap Acuan yang Dipakai di Tinjauan Pustaka.....	59
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Papan ESP32	6
Gambar 2. 2 PMS5003	7
Gambar 2. 3 Simulasi cara kerja PMS5003[14].....	8
Gambar 2. 4 RFM95W	9
Gambar 2. 5 BME280	10
Gambar 2. 6 Panel surya[19].....	11
Gambar 2. 7 Thingsboard Cloud[22]	12
Gambar 2. 8 Ventilasi Louver [25].....	13
Gambar 2. 9 RTC Module DS1307	14
Gambar 2. 10 Received Signal Strength Indicator[28]	14
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perangkat Pengirim.....	19
Gambar 3. 2 Blok Diagram Perangkat Penerima	20
Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Node Pengirim.....	20
Gambar 3. 4 Skema Rangkaian Node Penerima	22
Gambar 3. 5 Rangkaian Daya Perangkat.....	24
Gambar 3. 6 Desain Perangkat dan Tata Letak Komponen.....	25
Gambar 3. 7 Desain Perangkat Keseluruhan.....	26
Gambar 3. 8 Skenario Pengiriman Data	27
Gambar 3. 9 Flowchart Cara Kerja Sistem Node1 dan Node2	28
Gambar 3. 10 Format Cara Kerja Sistem Main Node	29
Gambar 3. 11 Lokasi Pemasangan.	30
Gambar 4. 1 Perangkat Pengamatan.....	34
Gambar 4. 2 Pesudocode Konfigurasi Program Main Node	35
Gambar 4. 3 Pseudocode Fungsi Request Data ke Node1	36
Gambar 4. 4 Dashboard demo.thingsboard	38
Gambar 4. 5 Dokumentasi logger pada google spreadsheet	39
Gambar 4. 6 Hasil Parsing Data di Main Node	42
Gambar 4. 7 Dokumentasi pengujian parameter	43
Gambar 4. 8 Dokumentasi Parameter-Parameter yang Diamati	44
Gambar 4. 9 Hasil Analisis Data PM _{2.5} Selama 4 Hari.....	50
Gambar 4. 10 Hasil Analisis Data PM ₁₀ Selama 4 Hari.....	51
Gambar 4. 11 Hasil Analisis Data Temperatur Udara Selama 4 Hari	52

Gambar 4. 12 Hasil Analisis Data Kelembaban Udara Selama 4 Hari	53
Gambar 4. 13 Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node1.....	54
Gambar 4. 14 Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node2.....	55
Gambar 4. 15 Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node3(Main Node).	55
Gambar 4. 16 Grafik Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node1	56
Gambar 4. 17 Grafik Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node2	57
Gambar 4. 18 Grafik Grafik Box Plot Parameter $PM_{2.5}$ Node3 (Main Node).....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Signal Strength menurut TIPHON[30]	16
Tabel 2. 2 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)[31]	16
Tabel 2. 3 Konversi Nilai Konsentrasi[31].....	17
Tabel 3. 1 Konfigurasi Pin Node1 Dan Node2.....	21
Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin Main Node	22
Tabel 3. 3 Keterangan Desain	25
Tabel 3. 4 Data Polusi Udara Selama 24 Jam	30
Tabel 3. 5 Data Nilai RSSI LoRa	32
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Node1 Menggunakan Metode Statistik Deskriptif.....	47
Tabel 4. 2 Hasil Analisi Node2 Menggunakan Metode Statistik Deskriptif	47
Tabel 4. 3 Hasil Analisi Node2 Menggunakan Metode Statistik Deskriptif	48
Tabel 4. 4 Tabel Pengujian RSSI (Received Signal Strength Indicator)	58
Tabel 4. 5 Rata-rata dan Analisis Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Pada Tanggal 29 Juli – 1 Agustus 2025	59
Tabel 4. 6 Ringkasan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi udara merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup di seluruh dunia. Menurut data World Health Organization (WHO), polusi udara menyebabkan sekitar tujuh juta kematian setiap tahun secara global [1]. Selain membahayakan kesehatan, polusi juga memicu terbentuknya kabut asap dan hujan asam, merusak tanaman dan hutan, serta mencemari lingkungan. Di lingkungan kampus, pencemaran udara menjadi masalah yang semakin memprihatinkan karena tidak hanya memengaruhi kualitas udara dan kesehatan, tetapi juga mengganggu kenyamanan serta keindahan kampus sebagai tempat belajar.

Sumber polusi di lingkungan kampus dapat berasal dari kendaraan bermotor, aktivitas konstruksi, hingga pembuangan limbah yang kurang tepat. Kurangnya fasilitas transportasi umum di kampus mendorong penggunaan kendaraan pribadi yang memperburuk kualitas udara. Asap knalpot menjadi penyumbang utama polusi yang meningkatkan risiko gangguan kesehatan, termasuk penyakit pernapasan [2]. Particulate Matter (PM) merupakan salah satu komponen polutan yang berdampak besar terhadap kesehatan. PM terdiri dari campuran partikel udara seperti debu, jelaga, dan asap, yang dikategorikan berdasarkan ukuran partikel. PM_{10} adalah partikel berdiameter kurang dari $10\ \mu m$, umumnya dihasilkan oleh proses mekanis seperti debu jalan atau bioaerosol. Sementara itu, $PM_{2.5}$ adalah partikel halus berdiameter kurang dari $2,5\ \mu m$, yang banyak berasal dari emisi pembakaran dan pembentukan sekunder di atmosfer [3].

Pemantauan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} umumnya menggunakan sensor BAM1020 dengan metode Beta Attenuation Monitoring (BAM) yang memiliki satuan mikrogram per meter kubik ($\mu g/m^3$) [4]. Meski akurat, BAM1020 memiliki kekurangan seperti biaya yang tinggi dan operasional yang kompleks [5], sehingga tidak efisien untuk skala kecil atau penggunaan mandiri. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan sensor biaya rendah (Low Cost Sensor) Plantower PMS5003, yang dapat mengukur konsentrasi massa $PM_{2.5}$ dan PM_{10} dengan tingkat akurasi memadai [6].

Sistem ini diintegrasikan dengan teknologi LoRa (Long Range) sebagai media komunikasi data nirkabel jarak jauh pada frekuensi tertentu sesuai wilayah, seperti 433

MHz, 868 MHz, atau 915 MHz [7][8]. LoRa memungkinkan pengiriman data berdaya rendah dengan jangkauan luas, sehingga mendukung sistem monitoring yang efisien tanpa bergantung pada internet. Penelitian ini juga mengadopsi konsep Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber daya utama. Hal ini sejalan dengan prinsip Green Tourism, yang mengedepankan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini membangun sistem pemantauan kualitas udara di tiga lokasi berbeda di lingkungan Kampus Politeknik Negeri Bali. Setiap perangkat dilengkapi sensor PMS5003 dan modul LoRa, yang memungkinkan pengukuran dan transmisi data secara fleksibel, hemat biaya, serta relevan untuk kebutuhan monitoring kualitas udara di lingkungan kampus.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain dan merealisasikan perangkat monitor kualitas udara yang dilengkapi dengan komunikasi LoRa dan sumber energi terbarukan?
2. Bagaimana klasifikasi kekuatan sinyal atau *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) pada titik-titik pemasangan alat monitor kualitas udara di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bali?
3. Bagaimana perbandingan pola fluktuasi konsentrasi partikel PM_{2.5} dan PM₁₀ antar perangkat yang berbeda di lokasi penelitian?

1.3 Batasan Masalah

Agar hasil penelitian sesuai dengan tujuan dan tetap relevan dengan permasalahan yang dibahas, diperlukan pembatasan masalah untuk menjaga fokus penelitian pada judul yang telah ditentukan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan kualitas udara dilakukan di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bali, dengan pengambilan data pada beberapa titik yang representatif.
2. Parameter yang diukur mencakup konsentrasi partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀), serta parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan untuk mendukung analisis kualitas udara.
3. Sistem pemantauan menggunakan modul LoRa sebagai media komunikasi untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah.

4. Data yang diperoleh akan dikirimkan ke ThingsBoard Cloud untuk visualisasi dan analisis.
5. Analisis data fokus pada penyediaan informasi setiap 30 menit sekali selama 24 jam.
6. Diasumsikan menggunakan panel surya 20 WP dan baterai 18650 tiga buah yang dirangkai parallel berkapasitas 7.500 mAh.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari uraian latar belakang dan rumusan masalah yang telah disampaikan, tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mendesain dan merealisasikan perangkat monitor kualitas udara yang dilengkapi dengan komunikasi LoRa dan sumber energi terbarukan.
2. Untuk memetakan kekuatan sinyal atau *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) LoRa untuk titik-titik pemasangan alat monitor kualitas udara di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bali.
3. Untuk membandingkan pola fluktuasi konsentrasi partikel PM2.5 dan PM10 antar perangkat yang berbeda di lokasi penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat berikut:

a. Manfaat Akademik

- (1) Menambah kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi IoT, khususnya dalam penerapan komunikasi LoRa untuk sistem pemantauan kualitas udara.
- (2) Memberikan referensi bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan teknologi pemantauan kualitas udara dengan menggunakan LoRa atau teknologi sejenis.
- (3) Memperkaya literatur ilmiah terkait pengembangan sistem berbasis IoT untuk aplikasi lingkungan, khususnya di area kampus atau komunitas kecil.

b. Manfaat Aplikatif

- 1) Membantu pihak kampus Politeknik Negeri Bali dalam memonitor kualitas udara secara *real-time*, sehingga dapat mengambil langkah mitigasi yang lebih cepat dan tepat.
- 2) Menyediakan informasi real-time tentang kualitas udara untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan lingkungan kampus, sehingga dapat menciptakan kondisi yang lebih sehat dan nyaman bagi sivitas akademika.

- 3) Menjadi model implementasi teknologi IoT yang hemat energi dan efisien untuk diterapkan di lokasi lain, baik untuk kampus, kawasan industri, maupun lingkungan masyarakat umum.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem monitoring kualitas udara portabel berbasis LoRa dan IoT berhasil dikembangkan dan berfungsi dengan baik dalam mengukur parameter PM_{2.5}, PM₁₀, suhu, kelembapan, dan tekanan udara.
2. Metode komunikasi LoRa dengan pendekatan *request-response berantai* memungkinkan pengiriman data dari beberapa node secara efisien ke satu main node, yang selanjutnya mengirimkan data tersebut ke *ThingsBoard* dan *Google Spreadsheet* tanpa hambatan yang berarti.
3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kualitas udara di lingkungan kampus Politeknik Negeri Bali secara umum berada dalam kategori Baik hingga Sedang, dengan PM_{2.5} sebagai parameter dominan berdasarkan perhitungan ISPU.
4. Dashboard ThingsBoard mampu menampilkan data secara real-time dan historis, serta mempermudah pemantauan secara visual dan spasial dari beberapa lokasi sensor.
5. Sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk pemantauan lingkungan berskala luas dengan penambahan node dan fitur notifikasi dini terhadap polusi udara.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sistem monitoring agar lebih optimal dan bermanfaat ke depannya, yaitu sebagai berikut:

1. Perluasan Jangkauan Jaringan

Sistem monitoring dapat dikembangkan dengan menambah jumlah node di titik-titik strategis, baik di dalam maupun luar area kampus, guna memperoleh cakupan pemantauan kualitas udara yang lebih luas dan representatif.

2. Peningkatan Frekuensi Pengambilan Data

Disarankan untuk menambah jumlah serta frekuensi pengambilan data harian agar diperoleh informasi yang lebih beragam dan detail, sehingga pola fluktuasi kualitas udara pada berbagai kondisi waktu dan aktivitas dapat terdeteksi dengan lebih akurat.

3. Integrasi Monitoring Konsumsi Daya

Penambahan fitur pemantauan daya listrik secara real-time akan meningkatkan efisiensi energi, memungkinkan pengguna mengetahui konsumsi daya perangkat, dan mengambil langkah penghematan yang tepat.

4. Penerapan Indikator Status Operasional

Diperlukan indikator visual atau notifikasi digital yang menunjukkan status operasional perangkat untuk memastikan sistem berjalan dengan baik dan memudahkan deteksi dini jika terjadi gangguan atau kerusakan.

5. Implementasi Perhitungan ISPU pada Visualisasi

Rumus ISPU dapat diintegrasikan langsung dalam program sehingga data yang ditampilkan sudah melalui perhitungan otomatis, lengkap dengan klasifikasi kualitas udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Bahaya Polusi Udara bagi Kesehatan: Dampak, Penyebab dan Pencegahannya.” Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://ayosehat.kemkes.go.id/bahaya-polusi-udara-bagi-kesehatan>
- [2] Kompasiana.com, “Dampak dan Solusi Polusi di Lingkungan Kampus UIN Raden Intan: Menuju Lingkungan Kampus Akademis yang Ramah Lingkungan,” KOMPASIANA. Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.kompasiana.com/sukronamin6694/6723956c34777c74df2a2fa2/dampak-dan-solusi-polusi-di-lingkungan-kampus-uin-raden-intan-menuju-lingkungan-kampus-akademis-yang-ramah-lingkungan>
- [3] I. Wellid *et al.*, “Evaluasi Polusi Udara PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut,” *J. Kesehat. Lingkung. Indones.*, vol. 23, no. 2, pp. 128–136, Jun. 2024, doi: 10.14710/jkli.23.2.128-136.
- [4] “Konsentrasi Partikulat (PM2.5) - Kualitas Udara - BMKG,” BMKG - Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/pm25>
- [5] “Met One BAM 1020,” cleanair Engineering. Accessed: Aug. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.cleanair.com/product/met-one-bam-1020/>
- [6] A. Caseiro, S. Schmitz, and E. Von Schneidemesser, “Particle number size distribution evaluation of Plantower PMS5003 low-cost PM sensors – a field experiment,” *Environ. Sci. Atmospheres*, vol. 4, no. 10, pp. 1183–1194, 2024, doi: 10.1039/D4EA00086B.
- [7] M. M. Kurniawan, K. Amron, and R. A. Siregar, “Analisis Karakteristik Transmisi lora pada Wilayah Perkotaan”.
- [8] H. Muchtar, I. Prasetyo, and H. Isyanto, “Desain Pembuatan Alat Pemantauan Temperatur dan Kelembaban dengan Menggunakan Teknologi lora,” vol. 5, no. 2.
- [9] A. R. Perdana, A. Indiani Pangastuti, and Y. Donni Haryanto, “Analisis Konsentrasi Pm10 Dan Pm2.5 Pada Titik Pemantauan Bundaran Hi Jakarta Pusat Peri- Ode Data Februari-Oktober 2021,” *J. Samudra Geogr.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2023, doi: 10.33059/jsg.v6i1.7158.
- [10] D. A. Wisesa, “Prototipe Sistem Pemantau Kualitas Udara Berbasis Raspberry Pi,” vol. 2, 2021.

- [11] H. Suryantoro and M. Kusriyanto, "Sistem Monitoring Partikel (PM2.5) Air Purifier untuk Mengetahui Kualitas Udara Berbasis Sensor PMS5003 Dan Arduino," *Indones. J. Lab.*, no. 3, p. 88, Nov. 2023, doi: 10.22146/ijl.v0i3.88043.
- [12] "ESP32 Wi-Fi & Bluetooth soc | Espressif Systems." Accessed: Jan. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [13] Z. Yong and Z. Haoxin, "Digital universal particle concentration sensor," 2016.
- [14] D. Suriano and M. Prato, "An Investigation on the Possible Application Areas of Low-Cost PM Sensors for Air Quality Monitoring," *Sensors*, vol. 23, no. 8, p. 3976, Apr. 2023, doi: 10.3390/s23083976.
- [15] "RFM95W - HOPERF - Produsen asli komponen utama iot yang andal." Accessed: Jan. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.hoperf.com/modules/lora/RFM95W.html>
- [16] "Humidity Sensor BME280," Bosch Sensortec. Accessed: Feb. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
- [17] R. S. Fletcher and D. K. Fisher, "Testing an Open-Source Multi Brand Sensor Node to Monitor Variability of Environmental Conditions inside a Greenhouse," *Agric. Sci.*, vol. 12, no. 03, pp. 159–180, 2021, doi: 10.4236/as.2021.123011.
- [18] "Panel Surya: Pengertian, Cara Kerja, Kelebihan, dan Kekurangannya." Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.solarkita.com/blog/panel-surya-pengertian-cara-kerja-kelebihan-dan-kekurangannya>
- [19] "Memahami Jenis Panel Surya Monocrystalline dan Pengukurannya." Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://sunenergy.id/blog/memahami-jenis-panel-surya-monocrystalline-dan-pengukurannya>
- [20] "Sistem Panel Surya: Pengertian, Jenis, Cara Kerja,." Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: <https://sunenergy.id/blog/sistem-panel-surya>
- [21] thingsboard, "thingsboard Installations," thingsboard. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://thingsboard.io/installations/>
- [22] "Apa itu thingsboard? Arsitektur, Prinsip Kerja, dan Kasus Penggunaan." Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.dusuniot.com/id/blog/a-brief-guide-and-description-of-thingsboard/>
- [23] "Pengembangan Sistem Monitoring Kelembaban dan Penyiraman Otomatis berbasis Internet of Things pada Perkebunan Salak di Desa Duda Timur".

- [24] Y. Ardianti Sabtalistia, “Aplikasi Louver Untuk Pengontrolan Pencahayaan Alami Pada Rumah Tinggal,” *Pawon J. Arsit.*, vol. 5, no. 2, pp. 251–266, Aug. 2021, doi: 10.36040/pawon.v5i2.3673.
- [25] “NEXSTA Aluminum Louver | NEXSTA | Produk,” PT YKK AP Indonesia. Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.ykkap.co.id/products/nexsta/aluminum-louver/>
- [26] J. A. P. Seputra, “Evaluasi Performa Ventilasi Alami Pada Desain Buka-an Ruang Kelas Universitas Atma Jaya Yogyakarta,” *J. Arsit. KOMPOSISI*, vol. 10, no. 3, p. 149, May 2017, doi: 10.24002/jars.v10i3.1111.
- [27] “UNIKOM_Muhammad Naufal Ghifari_Bab II.pdf.” Accessed: Jul. 13, 2025. [Online]. Available: https://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/2536/8/UNIKOM_Muhammad%20Naufal%20Ghifari_Bab%20II.pdf
- [28] B. B. Rijadi and A. R. Machdi, “Distance Testing On Point To Point Communication With Lora Basd On Rssi And Log Normal Shadowing Model,” vol. 5, 2024.
- [29] J. Ratnikorn, W. Boonsong, C. Samakee, and T. Inthasuth, “Measurement of lora-based Received Signal Strength Indication (RSSI) Using Point-to-Point Topology in a Seaside Area,” vol. 44, no. 1, 2022.
- [30] A. Maulana and W. Sulistyo, “Analisis Kualitas Signal Wireless Menggunakan Received Signal Strength Indicator (Rssi) Di Smp Negeri 10 Salatiga,” *IT-Explore J. Penerapan Teknol. Inf. Dan Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–78, Feb. 2024, doi: 10.24246/itexplore.v3i1.2024.pp50-65.
- [31] “Portal Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara Ditjen Ppkl Kllhk.” Accessed: Feb. 04, 2025. [Online]. Available: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
- [32] Sigit Prakosa Adhi Nugraha, Lilo Sunuharjo, and Muhammad ’Atiq, “Komunikasi Arduino I2C, SPI dan UART,” *Switch J. Sains Dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 4, pp. 80–85, Aug. 2024, doi: 10.62951/switch.v2i4.187.

LAMPIRAN

