

RANCANG BANGUN GATEWAY LoRa UNTUK SMART AQUACULTURE

Mohamad Fathurahman¹⁾, Ilham Satria Lubis²⁾, Dandun Widhiantoro³⁾, dan Budi Utami⁴⁾

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
E-mail: mohamad.fathurahman@elektro.pnj.ac.id

Abstract

This study developed a Smart Aquaculture system using Long Range (LoRa) communication, applied at the Fish Hatchery Center (BBI) Ciganjur. The system is designed to monitor and control pond water quality in real-time, efficiently and integratively, supporting modern and sustainable aquaculture management. The transmitter uses an Arduino Mega 2560 equipped with pH, turbidity, TDS, and temperature sensors, along with actuators such as pumps, heaters, and cooling fans. The receiver uses an ESP32 connected to a MySQL database for data storage and processing. The system operates at a range of up to 1.3 km in Line of Sight (LOS) conditions and 500 meters in Non-Line of Sight (NLOS). Test results show that the pH sensor recorded averages of 4.06 (acidic) and 6.98 (alkaline), with a maximum error of 2.34%. The temperature sensor recorded 27.23°C (normal), 24.15°C (cold), and 29.18°C (hot), with a maximum error of 1.25%. TDS values were 144.28 ppm (mineral water), 82.84 ppm (refill), and 201.96 ppm (tap water) with a maximum error of 5.48%. Turbidity levels identified clear (0.00 NTU), cloudy (135.12 NTU), and very cloudy (300.00 NTU) conditions. Data is transmitted every 30 minutes. The system proved accurate, reliable, and suitable for IoT-based aquaculture.

Keywords: LoRa, Gateway, Sensor, pond monitoring

PENDAHULUAN

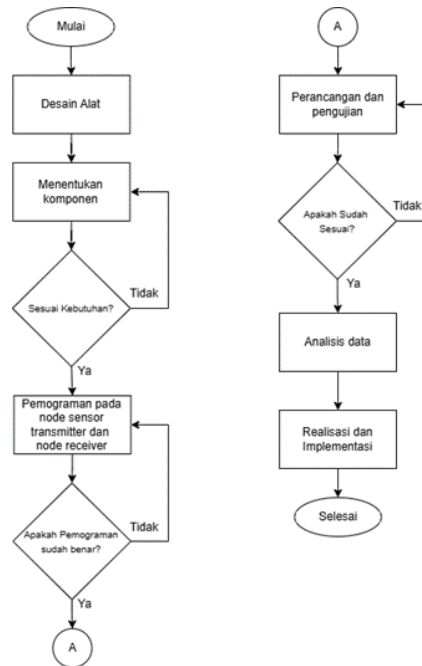
LoRa (*Long Range*) adalah teknologi modulasi frekuensi yang memungkinkan komunikasi jarak jauh (>10 km di area terbuka) dengan konsumsi daya rendah. LoRaWAN adalah protokol jaringan yang mengatur komunikasi antara perangkat IoT, gateway, dan server, menggunakan arsitektur *star-of-stars* untuk efisiensi energi (SEMTECH, n.d.). LoRaWAN mendukung aplikasi IoT skala luas, tetapi biaya gateway komersial yang mahal menjadi penghalang adopsi di negara berkembang dan minimnya studi tentang desain *gateway low-cost* yang dioptimalkan untuk lingkungan tropis/kepulauan (Augustin et al., 2016). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa gateway LoRa dapat dibangun dengan komponen terjangkau seperti mikrokontroler ESP32 dan modul SX1276 (The Things Network, n.d.), (Haxhibeqiri et al., 2018). Gateway berbasis ESP32 dan SX1276 mampu mencapai PDR (*Packet Delivery Ratio*) 85–95% pada jarak 2–5 km di lingkungan suburban (Haxhibeqiri et al., 2018) namun pengujian terbatas pada lingkungan urban Eropa, belum ada validasi di area dengan interferensi tinggi seperti Indonesia. Parameter seperti *Spreading Factor* (SF), *Bandwidth* (BW), dan *Coding Rate* (CR) memengaruhi jangkauan, kecepatan, dan konsumsi energi. SF tinggi (SF12)

meningkatkan jangkauan tetapi memperlambat transmisi dan meningkatkan konsumsi energi (Adelantado et al., 2017). Di lingkungan urban, interferensi frekuensi 2.4 GHz dapat menurunkan PDR hingga 30%(Petajarvi et al., 2017) dan belum ada kajian optimalisasi parameter untuk lingkungan kepulauan Indonesia. Indonesia memiliki karakteristik unik: kepulauan, vegetasi tropis, dan regulasi frekuensi 923–925 MHz untuk LoRa. Infrastruktur IoT di Indonesia masih bergantung pada produk impor, sehingga biaya tinggi dan kurang adaptif(Nurma, n.d.). Belum ada desain gateway yang mematuhi regulasi frekuensi lokal sekaligus mengatasi tantangan geografis. The Things Network (TTN) menyediakan server LoRaWAN open-source untuk validasi end-to-end. Integrasi gateway DIY dengan TTN berhasil diuji di Belanda dengan latensi rata-rata 1,5 detik(Wixted et al., 2016). Implementasi TTN di Indonesia masih terbatas karena minimnya gateway lokal. Berdasarkan kajian di atas, penelitian ini bertujuan: membangun gateway LoRa low-cost berbasis ESP32 dan SX1276 yang sesuai regulasi frekuensi Indonesia, menguji pengaruh parameter SF, BW, dan CR pada kinerja di lingkungan urban/suburban Indonesia dan memvalidasi integrasi gateway dengan TTN untuk aplikasi IoT lokal. Kontribusi penelitian ini pada pengembangan ilmu pengetahuan adalah menegaskan urgensi pengembangan gateway low-cost untuk mengurangi ketergantungan impor, memberikan dasar teori untuk optimasi parameter LoRaWAN di konteks lokal dan mengidentifikasi celah penelitian: validasi kinerja di lingkungan Indonesia. Kajian ini menjadi landasan untuk merancang eksperimen, memilih komponen, dan mengevaluasi hasil penelitian secara komprehensif.

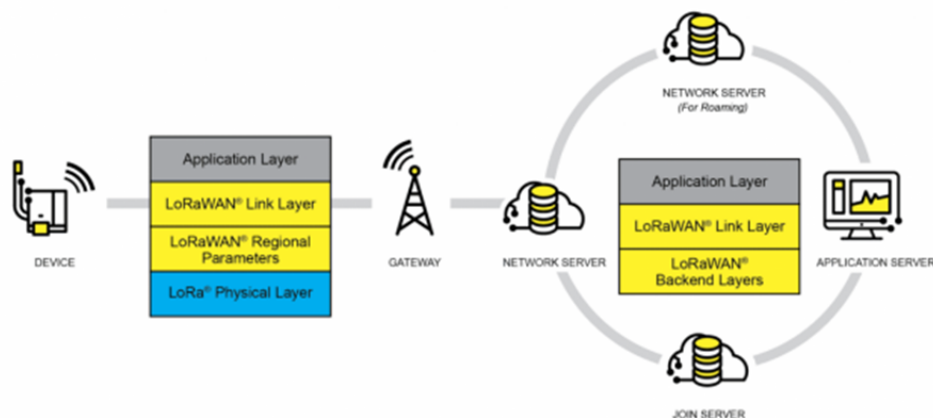
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam merancang alat *Smart Aquaculture* diawali dengan mendesain alat agar ter-*visualisasi* dengan baik serta kebutuhan komponen yang diperlukan dalam mendesain alat *Smart Aquaculture*. Adapun *flowchart* dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Berdasarkan gambar diatas dalam melakukan rancangan dan realisasi alat dimulai dengan tahap mulai lalu di lanjutkan dengan mendesain alat dan diikuti dengan menentukan komponen yang diperlukan. Dalam menentukan komponen harus disesuaikan dengan kebutuhan agar tidak membuang banyak biaya. Apabila komponen yang dibutuhkan sudah sesuai maka akan masuk ke tahap pemograman pada node sensor transmitter dan node receiver, jika komponen yang digunakan belum sesuai maka akan Kembali ke tahap menentukan komponen. Setelah tahap pemograman selesai selanjutnya akan masuk kedalam tahap perancangan dan pengujian, apabila dalam melakukan percancangan dan pengujian alat

belum sesuai kebutuhan, maka akan dilakukan kembali tahap pengujian alat tersebut sampai sesuai. Setelah selesai melakukan perancangan dan pengujian, selanjutnya masuk kedalam tahap analisa data dan langsung masuk kedalam tahap implementasi lalu perancangan alat selesai.



Gambar 1 Flowchart Metode Penelitian



Gambar 2. Rancangan Arsitektur Gateway LoRa berbasis LILYGO TTGO dan ESP32

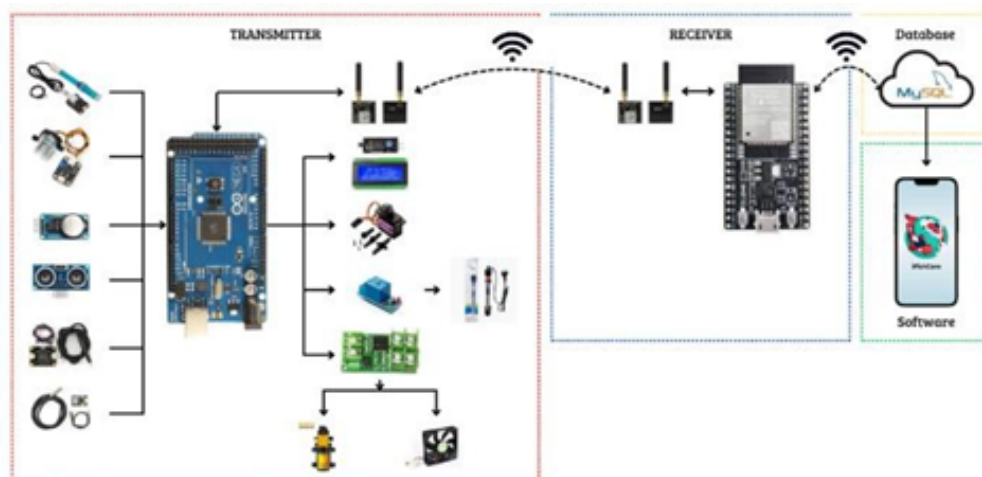
Gambar 2 menunjukkan ilustrasi dari arsitektur system yang akan dibangun yang meliputi beberapa komponen yakni Aplikasi mobile, pengelola platform, server (*cloud* atau *local based*) Gateway LoRa dan node. Baik aplikasi mobile maupun pengelola platform memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan node, memantau statusnya, dan menerima pesan uplink. Server adalah komponen penting dari sistem ini, yang meliputi server utama, server LoRaWAN, server message queuing telemetry transport (MQTT)(Yuan, 2021), server

manajemen perangkat, dan database. Server ini menawarkan fungsi-fungsi seperti penyimpanan data, pemrosesan, layanan jaringan, dan keamanan. Server dapat digunakan secara lokal atau berbasis awan. Protokol MQTT digunakan untuk menghubungkan server dan gateway.

Gateway LoRa memainkan peran penting dalam arsitektur, berfungsi sebagai hub pusat untuk relai data, pemrosesan, dan keamanan. Gateway dan server terhubung melalui Ethernet atau 5G. Topologi *star* dengan keunggulan seperti perawatan yang mudah, keandalan yang tinggi, dan skalabilitas digunakan di antara gateway dan node akhir. Node melaporkan data ke dan menjalankan perintah kontrol dari server. Node ini mencakup, misalnya, sakelar pintar, sensor gerak, sensor radar gelombang mikro, dan sensor magnetik. Kesenjangan node membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk *smart home*(You et al., 2019), otomatisasi gedung(Himeur et al., 2023), *smart agriculture*(Adli et al., 2023), *smart city*(Bauer et al., 2021), dan pemantauan lingkungan(Gavrilaş et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan alat *Smart Aquaculture* menggunakan LoRa LILYGO TTGO SX1276 dengan frekuensi 915 MHz. Alat ini dilengkapi dengan sisi *transmitter* dan sisi *receiver*(Noprianto et al., 2024). Adapun diagram blok dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Diagram Blok alat *Smart Aquaculture*

Pada Gambar 3 di atas menunjukkan diagram blok sistem dari perancangan alat Smart Aquaculture yang dirancang untuk memantau dan mengontrol kualitas air kolam secara realtime dan otomatis. Sistem ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian *transmitter* dan

receiver.

Pada sisi Transmitter, terdapat beberapa sensor yang terhubung ke mikrokontroler Arduino Mega 2560, antara lain seperti sensor pH air untuk mengukur kadar asam dan basah pada air, sensor kekeruhan untuk mengukur tingkat kejernihan air, sensor TDS untuk mengukur total padatan terlarut, sensor suhu DS18B20 berfungsi untuk memonitoring suhu air kolam, sensor ultrasonic HC-05 untuk memonitoring ketinffian air dan sisa pakan ikan. Arduino Mega 2560 juga berfungsi mengatur luaran seperti actuator LCD 20x4 untuk menampilkan data sensor, motor servo MG90S sebagai katup buka tutup pakan, moset IRF5305 yang mengontrol pompa kuras dan isi air kolam, kipas sebagai pendingin air kolam, relay 1 chanel untuk control pemanas, dan LoRa transmitter yang berfungsi untuk mengirimkan data sensor. Pada sisi Receiver terdapat LoRa receiver yang berfungsi menerima data sensor, ESP32 yang berfungsi mengolah data dan diteruskan ke database yang nantinya diintegrasikan ke aplikasi android.

Pengujian sensor secara keseluruhan meliputi sensor pH, sensor *turbidity*, sensor TDS, sensor suhu, dan status penerimaan pada aplikasi. Pengujian ini dilakukan dalam rentang waktu dari pukul 10:00 (sepuluh) pagi sampai dengan pukul 15:00 (tiga) sore. Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan kinerja dari alat yang telah dirancang serta kinerja komponen – komponen yang digunakan.

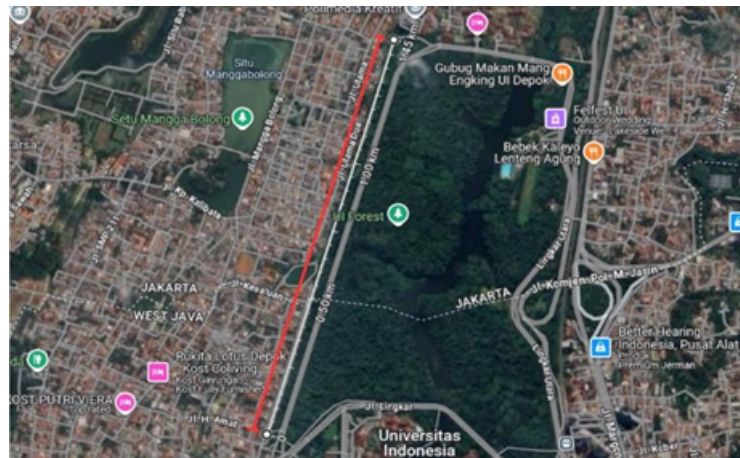
Tabel 1
Hasil Pengujian Sensor

Waktu	Sensor pH	Sensor Turbidity	Sensor TDS (ppm)	Sensor Suhu (°C)	Pada sisi Gateway
10:00:00	7.23	0	19.51	26.87	Diterima
10:30:00	7.15	0	21.43	26.49	Diterima
11:00:00	7.20	0	23.32	27.21	Diterima
11:30:00	7.18	0	22.73	27.45	Diterima
12:00:00	7.22	0	20.83	26.42	Diterima
12:30:00	7.32	0	19.93	26.15	Diterima
13:00:00	7.35	0	19.64	25.84	Diterima
13:30:00	7.29	0	19.86	25.42	Diterima
14:00:00	7.31	0	21.74	25.94	Diterima
14:30:00	7.28	0	21.94	26.19	Diterima
15:00:00	7.22	0	21.78	26.74	Diterima

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sistem *Smart Aquaculture* mampu mencatat dan mengirim data sensor secara real-time antara pukul 10:00:00 hingga 15:00:00. Sensor pH menunjukkan nilai stabil pada kisaran 7,15– 7,35, menandakan air dalam kondisi netral hingga sedikit basa, sesuai standar budidaya ikan air tawar. Sensor kekeruhan mencatat 0 NTU secara konsisten, menunjukkan air sangat jernih. Sensor TDS menunjukkan nilai 19,51–23,32 ppm,

masih dalam batas aman dan mencerminkan air kolam bersih. Sensor suhu mencatat 25,42–27,45°C, termasuk dalam kisaran ideal untuk kesehatan ikan. Seluruh data berhasil dikirim dan diterima aplikasi dengan baik, membuktikan bahwa komunikasi antara mikrokontroler dan sistem monitoring berjalan lancar.

Pengujian performansi LoRa dalam kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada pengujian LOS, LoRa transmitter dan LoRa receiver ditempatkan tanpa adanya halangan di antara kedua perangkat tersebut. Pengujian ini dilakukan di jalan akses Universitas Indonesia yang berada di di sekitar hutan Universitas Indonesia.



Gambar 4. Lokasi Pengujian LoRa LOS pada Universitas Indonesia

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran nilai Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Signal to Noise Ratio (SNR) dalam kondisi Line of Sight (LOS) pada Tabel 2 berikut,

Tabel 2.

Hasil Pengujian LoRa Kondisi LOS

Jarak(m)	RSSI(dBm)	SNR(dB)
100	-93	9.00
200	-102	7.00
300	-103	7.00
400	-110	-1.00
500	-112	-5.25
600	-112	-6.50
700	-109	1.50
800	-111	-7.50
900	-112	-8.00
1000	-112	-5.50
1100	-112	-8.50
1200	-112	-8.50
1300	-114	-11.25

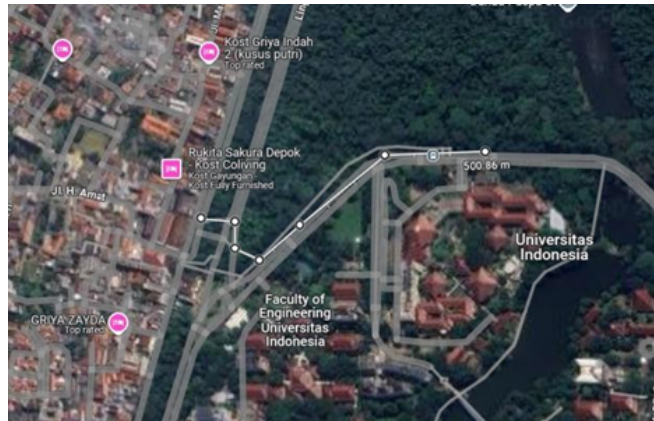
Berdasarkan Tabel 2, pengujian LoRa dalam kondisi Line of Sight (LOS) menunjukkan bahwa semakin jauh jarak, kualitas sinyal (RSSI) dan rasio signal-to-noise (SNR) cenderung

Pengujian kondisi Non-Line of Sight (NLOS) dilakukan untuk mengevaluasi performa transmisi LoRa dalam lingkungan dengan hambatan seperti pepohonan dan tembok. Pengujian ini dilakukan di dua lokasi, yaitu Balai Benih Ikan Ciganjur dan Jalan Akses Universitas Indonesia. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di kawasan BBI Ciganjur, pada Tabel 3 didapatkan hasil nilai Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Signal to Noise Ratio (SNR) dalam kondisi N-LOS.

Jarak (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
50	-90	9.75
100	-95	9.25
150	-96	8.75
200	-99	8.75
250	-99	8.75
286	-100	8.25

604

menandakan kualitas sinyal masih baik dan dapat diterima oleh receiver meskipun tidak berada dalam garis pandang langsung.



Gambar 6. Lokasi Pengujian LoRa N-LOS pada Universitas Indonesia

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di kawasan Universitas Indonesia, didapatkan hasil nilai Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Signal to Noise Ratio (SNR) dalam kondisi N-LOS pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Pengujian LoRa kondisi NLOS Universitas Indonesia

Jarak (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
100	-95	9.25
200	-99	8.75
300	-101	8.25
400	-112	-3.25
500	-113	-9.25
600	-	-

Berdasarkan Tabel 4, pengujian LoRa dalam kondisi NLOS di Universitas Indonesia menunjukkan penurunan kualitas sinyal seiring bertambahnya jarak. Pada jarak 100–300 meter, RSSI dan SNR masih menunjukkan kualitas sinyal yang baik. Namun mulai dari jarak 400 meter, nilai SNR turun drastis menjadi negatif, dan pada 600 meter tidak terdeteksi sinyal sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan lingkungan di lokasi ini cukup signifikan dan membatasi jangkauan efektif komunikasi LoRa.

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian alat Smart Aquaculture di Balai Benih Ikan Ciganjur, sistem monitoring dan controlling berbasis LoRa menunjukkan performa baik dalam memantau kualitas air kolam dari jarak jauh. Sistem terdiri dari sisi transmitter yang dilengkapi modul

LoRa LILYGO TTGO, Arduino Mega 2560, sensor pH, turbidity, TDS, suhu, LCD 20x4, pompa, kipas pendingin, pemanas, dan tempat pakan, serta sisi receiver dengan modul LoRa dan ESP32 yang mengirimkan data ke database MySQL. LoRa mampu mentransmisikan data hingga 1,3 km pada kondisi Line of Sight (LOS) dan 500 m pada Non-Line of Sight (NLOS), sedangkan jarak aktual di BBI Ciganjur hanya 250 m, sehingga system tetap berjalan stabil. Hasil pengujian menunjukkan sensor pH mendeteksi air asam dan basa secara akurat, sensor TDS mampu mengukur padatan terlarut dengan toleransi wajar, sensor suhu DS18B20 membaca suhu dengan presisi tinggi, dan sensor turbidity membedakan tingkat kejernihan (bersih, keruh, sangat keruh) secara real-time. Seluruh data berhasil dikirim dan ditampilkan dengan baik, menandakan bahwa sistem bekerja secara efektif dan dapat diandalkan dalam pengelolaan kualitas air kolam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- Adli, H. K., Remli, M. A., Wan Salihin Wong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., & Mohamad, M. S. (2023). Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. *Sensors*, 23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073752>
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors (Switzerland)*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Bauer, M., Sanchez, L., & Song, J. (2021). IoT-Enabled Smart Cities: Evolution and Outlook. *Sensors*, 21(13). <https://doi.org/10.3390/s21134511>
- Gavrilaş, S., Ursachi, C., Ştefan, Perţa-Crişan, S., & Munteanu, F.-D. (2022). Recent Trends in Biosensors for Environmental Quality Monitoring. *Sensors*, 22(4). <https://doi.org/10.3390/s22041513>
- Haxhibeqiri, J., De Poorter, E., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2018). A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113995>
- Himeur, Y., Elnour, M., Fadli, F., Meskin, N., Petri, I., Rezgui, Y., Bensaali, F., & Amira, A. (2023). AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 4929–5021. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10286-2>
- Noprianto, N., Dien, H. E., Ratsanjani, M. H., & Hendrawan, M. A. (2024). Analysis of LoRa with LoRaWAN Technology Indoors in Polytechnic of Malang Environment. *SISTEMASI*, 13(2), 698. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v13i2.3884>

- Nurma, K. (n.d.). *Implementation of IoT in Indonesia: Challenges and Opportunities*. <https://Nocola.Co.Id/Implementation-of-Iot-in-Indonesia-Challenges-and-Opportunities/>.
- Petajajarvi, J., Mikhaylov, K., Pettissalo, M., Janhunen, J., & Iinatti, J. (2017). Performance of a low-power wide-area network based on LoRa technology: Doppler robustness, scalability, and coverage. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 13, 1–16. <https://doi.org/10.1177/1550147717699412>
- SEMTECH. (n.d.). *What is LoRa?* <https://Www.Semtech.Com/Lora/What-Is-Lora>.
- The Things Network. (n.d.). *Gateway*. <https://Www.Thethingsnetwork.Org/Docs/Gateways/>.
- Wixted, A., Kinnaird, P., Larijani, H., Tait, A., Ahmadinia, A., & Strachan, N. (2016). *Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks*. 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2016.7808712>
- You, I., Pau, G., Salerno, V. M., & Sharma, V. (2019). Special Issue “Internet of Things for Smart Homes.” *Sensors*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/s19194173>
- Yuan, M. (2021, December 8). *Getting to know MQTT*. <https://Developer.Ibm.Com/Articles/Iot-Mqtt-Why-Good-for-Iot/>.