

ANALISIS LORA DALAM KOMUNIKASI NODEMCU DI LINGKUNGAN POLITEKNIK NEGERI MALANG

LORA ANALYSIS IN NODEMCU COMMUNICATION IN THE MALANG STATE POLYTECHNIC CAMPUS

Noprianto¹⁾, Muhammad Afif Hendrawan²⁾, M. Hasyim Ratsanjani³⁾

E-mail : ¹⁾noprianto@polinema.ac.id , ²⁾afif.hendrawan@polinema.ac.id , ³⁾hsy@polinema.ac.id

^{1,2,3}Teknik Informatika, Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang

Abstrak

Proses monitoring keadaan lingkungan menggunakan teknologi IoT menjadi teknologi yang berkembang pada saat ini, setiap perubahan lingkungan dapat dipantau secara real time sehingga dapat diambil tindakan-tindakan dengan cepat ketika terjadi perubahan yang tidak normal. Untuk melakukan monitoring dibutuhkan sebuah media komunikasi dalam melakukan pengiriman data, media komunikasi nirkabel yang sering digunakan seperti Bluetooth, Wifi, dan LoRA. Akan tetapi tidak semua media komunikasi cocok di daerah pedesaan, hutan, atau bahkan lepas pantai. Ketika ada kebutuhan untuk mendeteksi sejak dini ketika terjadi kebakaran hutan atau mengetahui keadaan pasang surut pantai, kondisi hutan dan pantai yang luas akan mengalami masalah ketika harus menggunakan Bluetooth atau Wifi karena memiliki keterbatasan jangkauan untuk melakukan pertukaran data. LoRa menawarkan media komunikasi yang dapat diterapkan daerah dengan kondisi alam yang luas karena kemampuan dalam mengirimkan data yang jauh sampai 20 - 30 Km dengan kondisi *line of sight*, pada penelitian ini melakukan pengujian untuk mengetahui jangkauan LoRa dalam mengirimkan data di area dalam gedung yaitu Politeknik Negeri Malang. Dari beberapa lantai yang digunakan dalam melakukan percobaan pengiriman data, dari lantai 4 sampai lantai 7 dapat mengirimkan data (serialisasi - deserialisasi) dengan posisi LoRa penerima di lantai 6.

Kata kunci: *LoRa, RSSI, SNR, NodeMCU, IoT*

Abstract

The process of monitoring environmental conditions using IoT technology is a technology that is developing at this time, any changes in the environment can be monitored in real-time so that actions can be taken quickly when abnormal changes occur. To carry out monitoring, a communication medium is needed in sending data, and wireless communication media that are often used such as Bluetooth, Wifi, and LoRA. However, not all communication media are suitable in rural areas, forests, or even offshore. When there is a need to detect early on when forest fires occur or know the state of coastal tides, the condition of forests and large beaches will experience problems when it comes to using Bluetooth or Wifi because they have a limited range to exchange data. LoRa offers a communication medium that can be applied to areas with extensive natural conditions due to the ability to transmit data far away up to 20 - 30 Km, in this study a test was carried out to determine the reach of LoRa in sending data in areas within the building, namely the State Polytechnic of Malang. From several floors that are used to conduct data transmission experiments, from the 4th floor to the 7th floor can transmit data (serialization - deserialization) with the LoRa receiver position on the 6th floor.

Keywords: *LoRa, RSSI, SNR, NodeMCU, IoT*

1. PENDAHULUAN

Teknologi adalah salah satu dari bidang yang sangat dipengaruhi oleh perkembangan, yang mengalami perubahan cepat setiap tahun. Salah satu teknologi yang terpengaruh adalah transmisi. Salah satu teknologi yang mendukung transmisi data adalah Wireless Sensor Network (WSN). Jaringan nirkabel yang terdiri dari sejumlah node kecil yaitu WSN diminati karena transmisi data pada WSN dapat memudahkan pengguna dengan mengurangi tingkat kerumitan instalasi jaringan yang ada. Transmisi data tersebar luas dan sedang dipelajari baik di dunia pendidikan maupun bisnis. Transfer data adalah proses pengiriman data digital atau analog melalui media komunikasi ke satu atau lebih jaringan, komputer komunikasi, atau perangkat elektronik[1].

Pengiriman atau transmisi data mempunyai kendala tersendiri, dan setiap daerah memiliki kendala berbeda pada konektivitas. Terlebih daerah yang sumber listrik dan koneksi internet yang belum terjangkau. Daerah perbukitan juga memiliki kendala dalam hal ketinggian bangunan yang berbeda. Atau jarak antar rumah dan perangkat di daerah pedesaan yang cukup jauh dapat menyulitkan penerimaan data, sinyal internet maupun jaringan komunikasi. Penggunaan *WiFi* maupun *Bluetooth* belum mengatasi kendala secara maksimal pada pengiriman data, apalagi pada daerah yang sulit menemukan sinyal internet.

Teknologi seperti *WiFi* maupun *Bluetooth* banyak diminati pada bidang WSN tetapi memiliki jarak transmisi cenderung dekat dengan konsumsi daya tinggi[2]–[4]. Dalam hal ini, perluasan jangkauan komunikasi dan pengiriman data sangat diperlukan untuk menambah pengoptimalan kinerja sistem yang membutuhkan koneksi internet seperti *doorlock* otomatis pada daerah yang sulit mendapatkan sinyal. Teknologi modul LoRa dirancang untuk mengirim data kecil dari 0,3 Kbps hingga 5,5 Kbps, dengan cakupan area yang luas dan konsumsi daya yang rendah serta dapat digunakan dalam jangka panjang, sehingga teknologi LoRa diyakini dapat mengatasi masalah tersebut. Modul LoRa dipasangkan pada *doorlock* otomatis untuk menambah jangkauan pengiriman data pada door lock otomatis yang mana LoRa diklaim dapat mencapai jarak 20 – 30 kilometer pada kondisi *line of sight* (LoS) [5]–[8]. Pengiriman data yang jauh sangat menguntungkan walaupun dengan keterbatasan panjang data, akan tetapi jika hanya untuk mengirimkan data dari sebuah sensor kebutuhan tersebut telah terpenuhi.

Dalam penelitian ini mengambil inisiatif untuk merancang sebuah sistem monitoring sensor suhu dan kelembaban, serta sensor intensitas cahaya menggunakan modul LoRa sebagai media transmisi data. Karena kemampuan LoRa dalam mengirimkan paket data sangat bergantung sekali dengan kondisi di daerah misalkan banyak gedung tinggi, frekuensi radio di sekitar, dan yang lain sehingga sangat menarik untuk dilakukan analisis. Penelitian ini dapat digunakan untuk menganalisis sejauh mana pengaruh LoRa dalam pengiriman data sehingga dapat mengetahui kelayakan modul LoRa dalam pengiriman data di Jawa Timur, khususnya pada lingkungan Politeknik Negeri Malang. Lokasi Politeknik Negeri Malang menjadi acuan karena penelitian ini merupakan langkah awal dalam memanfaatkan model komunikasi menggunakan teknologi LoRa, selain menggunakan media komunikasi nirkabel seperti Bluetooth ataupun Wifi khususnya dalam pengembangan aplikasi Internet of Things.

2. METODOLOGI

Adapun beberapa tahapan dalam penelitian yang ini yang dilakukan seperti berikut

2.1. Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan di kampus Politeknik Negeri Malang khususnya pada laboratorium jurusan Teknologi Informasi, beberapa data yang digunakan meliputi data yang dihasilkan dari sensor kelembaban, DHT11 yaitu informasi suhu dan kelembaban. Data ini nantinya akan diambil dari beberapa titik tertentu yang dihasilkan dari

NODEMCU lengkap terpasang modul LoRa (pengirim), selanjutnya data tersebut dikirimkan ke Raspberry yang telah terpasang LoRa HAT (penerima).

2.2. Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan

Sebelum melakukan penelitian dilakukan analisis sehingga tahu secara detail kebutuhan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini berguna untuk membuat desain penelitian yang tepat. Analisis dilakukan dengan cara memasang node yang terdiri dari seperangkat NodeMCU lengkap dengan modul LoRa dan sensor DHT11 agar bisa dikirimkan ke LoRa *receiver* atau Raspberry pi. Studi literatur diperoleh dari beberapa sumber yaitu buku, ebook, dan jurnal penelitian.

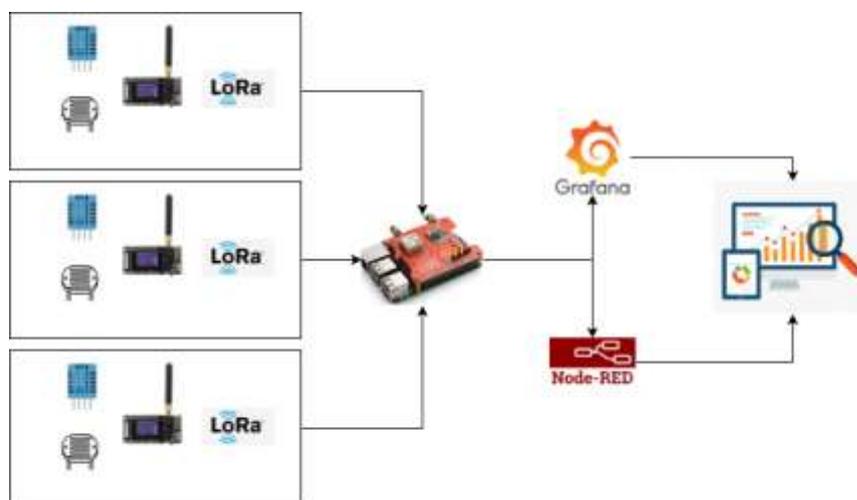
2.3. Desain Sistem

Pada tahap desain, dilakukan perancangan sistem untuk merancang sistem sesuai dengan hasil studi literatur dan analisis kebutuhan yang telah dilakukan di tahap sebelumnya. Tahap desain ini dilakukan dengan menyusun alur program dalam bentuk *flowchart* maupun *pseudocode*, serta melakukan perancangan arsitektur yang akan digunakan untuk melakukan pengelolaan data.

Beberapa perangkat yang digunakan penelitian ini antara lain:

1. DHT11 adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mendeteksi kondisi keadaan *temperature* dan suhu di lingkungan sekitar.
2. LDR adalah sebuah sensor yang dimanfaatkan untuk menerima data intensitas cahaya pada lingkungan sekitar.
3. NodeMCU merupakan komponen yang digunakan untuk *controller* sensor DHT11 dan mengontrol komponen yang lain.
4. Raspberry Pi HAT berbasis chip SX1276 untuk *receiver* LoRa yang nantinya akan terpasang di Raspberry Pi dalam penerimaan data sensor.

Komunikasi yang digunakan dari masing-masing node, node tersebut adalah perangkat NodeMCU yang terdiri dari sensor LDR, DHT11 serta modul LoRa. Masing-masing node akan mengirimkan data secara bergantian ke dalam LoRa *gateway*, LoRa *gateway* adalah Raspberry Pi yang terpasang Raspberry Pi HAT untuk menerima data. Setelah data diterima, kemudian akan diolah baik menggunakan Grafana ataupun Node-RED. Data yang diolah menggunakan Grafana ataupun Node-RED selanjutnya bisa langsung dilihat menggunakan browser. Untuk lebih jelasnya arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Arsitektur sistem

2.4. Implementasi Sistem

Di tahap pembangunan ini, dilakukan implementasi dari desain penelitian yang telah dirancang. Untuk membangun aplikasi ini digunakan sebuah Grafana dan Node-RED untuk melakukan visualisasi data sensor, baik sensor DHT11 ataupun sensor LDR.

2.5. Uji Coba Sistem

Uji coba dilakukan untuk mengetahui kesesuaian alur fungsi sistem terhadap desain yang telah dibuat sebelumnya. Pengujian *black box* digunakan untuk memastikan keseluruhan perancangan sistem telah diterapkan pada sebuah *prototype* sistem. Selain itu untuk mengetahui fungsionalitas sistem uji coba dilakukan terkait dengan pengiriman data sensor dari beberapa titik atau lokasi, sehingga akan diketahui titik atau daerah mana yang memiliki kemampuan dalam proses pengiriman data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian di dalam ruangan gedung dari lantai 4 sampai lantai 7, dengan lokasi modul LoRa sebagai penerima (*concentrator*) diletakkan pada lantai 6 sedangkan modul LoRa sebagai pengirim (*sender*) berpindah-pindah. Gambar 2 menunjukkan LoRa penerima dengan spesifikasi Dragino LoRa HAT Raspberry dengan frekuensi 915 MHz, sedangkan Gambar 3 menunjukkan LoRa pengirim dengan spesifikasi LILYGO Ttgo lora32 dengan frekuensi sama dengan penerima yaitu 915MHz.



Gambar 2 LoRa penerima



Gambar 3 LoRa pengirim

Pada LoRa pengirim selain terdiri dari modul LoRa, dilengkapi juga beberapa sensor seperti sensor jarak (HC-SR04), sensor suhu dan kelembaban (DHT11), dan sensor intensitas cahaya (LDR). Kemudian untuk memudahkan perpindahan dari lantai ke lantai yang lain agar LoRa pengirim tetap dapat nyala untuk mengirimkan data dipasangkan *power bank*. Data-data sensor dikirimkan secara berkala selama berkala yaitu 5 detik menggunakan format *Javascript Object Notation* (JSON) untuk memudahkan proses serialisasi dan deserialisasi, serialisasi merupakan sebuah proses perubahan format data dalam bentuk *string* menjadi sebuah objek (LoRa pengirim) kemudian untuk deserialisasi sebaliknya dari objek ke *string* (LoRa penerima). Adapun untuk format data yang dihasilkan oleh LoRa pengirim dapat dilihat pada Tabel 1 Format data LoRa pengirim

Tabel 1 Format data LoRa pengirim

Format Data	Keterangan
<pre>{ "mac": "4C:75:25:B1:EC:6C", "temp": 26, "hum": 57, "LDR": 118, "SR04": 28.36 }</pre>	Attribute mac berari <i>mac address</i> dari LoRa, temp menunjukkan nilai <i>temperature</i> , hum adalah untuk menampung nilai kelembaban (<i>humidity</i>),

Format Data	Keterangan
	LDR digunakan untuk menampung nilai intensitas cahaya, sedangkan <i>attribute SR04</i> digunakan untuk menyimpan nilai ultrasonic.

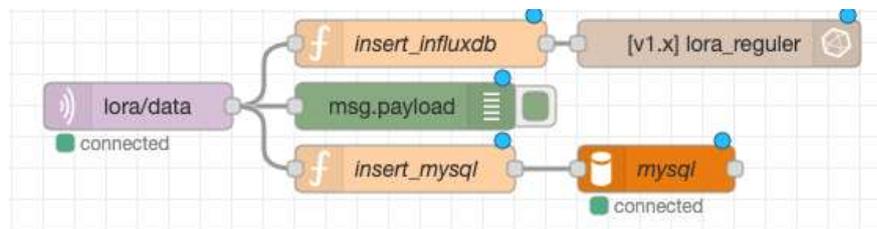
Kemudian ketika data diterima oleh LoRa penerima atau *concentrator*, selanjutnya data akan dikirimkan (*publish*) ke *message broker* (MQTT) dengan format yang ditunjukkan pada Tabel 2 Format data LoRa Penerima

Tabel 2 Format data LoRa penerima

Format Data	Keterangan
{ "RSSI": -102, "SNR": -5, "Length": 75, "mac": "4C:75:25:B1:EC:6C", "temp": 26, "hum": 57, "LDR": 118, "SR04": 28.36 }	Secara umum datanya sama dengan yang dihasilkan oleh LoRa pengirim, ditambahkan beberapa attribute seperti RSSI (Received Signal Strength Indicator) untuk menampung informasi kekuatan sinyal, SNR (Signal-to-Noise Ratio) untuk menampung kualitas sinyal LoRa penerima, dan Length digunakan untuk menampung panjang data yang diterima.

3.1 Visualisasi Data LoRa

Data yang telah dikirimkan (*publish*) oleh LoRa penerima (*concentrator*), selanjutnya akan diterima (*subscribe*) Node-RED untuk dimasukkan ke dalam sebuah database dan dilakukan visualisasi. Node-RED adalah sebuah *platform* Internet of Things yang dapat digunakan pengolahan data sekaligus visualisasi data, untuk aliran node pada Node-RED dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Aliran node pada Node-RED

Dari Gambar 4 di atas terlihat yaitu melakukan *subscribe* dengan topik *lora/data* yang selanjutnya data diolah untuk dimasukkan ke dalam *database* influxDB dan MySQL, influxDB digunakan karena merupakan *database time series* yang cocok untuk menyimpan data sensor pada IoT dan memiliki kemampuan durasi dalam penyimpanan data dengan konfigurasi yang mudah. Sedangkan data disimpan dalam database MySQL jika ke depan akan dimanfaatkan dalam visualisasi pada aplikasi.

Data yang masuk ke dalam *database* influxDB dapat ditampilkan menggunakan Grafana, Grafana adalah sebuah *tool* visualisasi yang banyak mendukung *datasource* seperti influxDB, MySQL, MongoDB, dan yang lain. Selain dukungan *datasource* yang banyak, kemampuan dalam memvisualisasi data mudah dilakukan karena tidak perlu menambahkan baris perintah dalam pembuatan sebuah tampilan dashboard. Gambar 5 Dashboard visualisasi data LoRa seperti berikut



Gambar 5 Dashboard visualisasi data LoRa

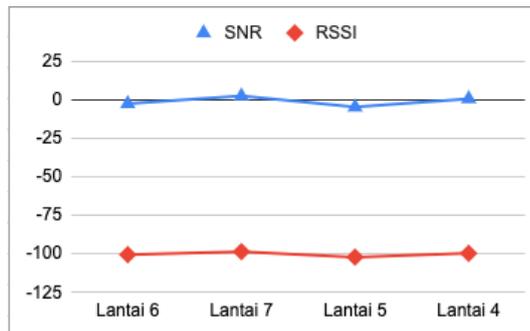
Dari Gambar 5 di atas terdapat informasi RSSI dan SNR yang diambil data dari lantai 4 sampai dengan lantai 7, dengan rentang waktu jam 13.00 – 13.50. Jika diperhatikan terdapat jarak tren data antara waktu tertentu, hal tersebut menunjukkan sedang terjadi pergantian lantai atau pindah ke lantai yang lain.

3.2 Hasil Pengujian LoRa

Setelah melakukan pengujian yang dilakukan dalam pengiriman data sensor menggunakan modul LoRa yaitu melakukan pengiriman data sebanyak 30 data setiap lantai. Dimana jarak setiap lantai adalah 3 meter dengan ketebalan lantai 10-15cm, adapun hasilnya disajikan dalam Gambar 6 Hasil pengujian LoRa dan Tabel 3 untuk sebagian data seperti berikut ini

Tabel 3 Data pengujian LoRa

Lokasi	SNR	RSSI
Lantai 6	-5	-102
Lantai 6	0	-101
Lantai 6	-7	-101
Lantai 6	-4	-102
Lantai 6	-4	-101



Gambar 6 Hasil pengujian LoRa

Dari Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa nilai RSSI masih disekitar -100 untuk semua lantai, pada lantai 6 dan lantai 7 tidak terlalu baik yang seharusnya di lantai 6 menghasilkan nilai RSSI yang mendekati 0 karena LoRa penerima terdapat di lantai 6. Lantai 6 merupakan lantai yang paling ramai diisi ruangan dosen dan kegiatan akademik. Sedangkan untuk lantai 4, 5, dan 7 digunakan untuk ruangan kelas. Nilai rata-rata RSSI yang dihasilkan pada lantai 7, cenderung lebih baik dibandingkan dengan lantai 5 ataupun lantai 4. Hal tersebut bisa terjadi karena masalah *path loss*, antenna gain, atau juga masalah kabel/*connector loss*. *Path loss* merupakan jalur gelombang elektromagnetik yang mengalami pengurangan daya akibat menyebar melalui ruang terbuka atau merambat melalui dinding ruangan. Sebuah nilai RSSI yang mendekati 0 maka mengakibatkan sinyal yang diterima semakin kuat.

Pada bagian SNR, perbandingannya sama dengan RSSI dengan lantai 5 yang memiliki nilai SNR memiliki nilai negatif paling tinggi yang dapat dikatakan bahwa kualitas sinyal yang diterima buruk jika dibandingkan pada lantai yang lain.

Setelah pengujian dilakukan pengujian pada lantai 7, selanjutnya bergerak ke lantai 8 akan tetapi LoRa penerima (*concentrator*) tidak dapat menerima data dengan sempurna. Hal yang sama terjadi ketika dilakukan pengujian pada lantai 3, data yang dihasilkan tidak dapat dibaca dengan baik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel yang menunjukkan data tidak terbaca

Tabel 4 Data tidak terbaca dengan baik

Lokasi	Data
Lantai 8	Payload: meBZ, bp b0oBdoE@?C"LDtgmp:21JBNum6L>G<38, "SR04":8M4E529900
Lantai 3	Payload: {"mac": "4C:5:25B1:EC:6C/0ip

Dari Tabel 4 menunjukkan LoRa penerima hanya bisa menerima data yang dapat terbaca dari lantai 4 sampai lantai 7, sedangkan untuk lantai 8 dan lantai 3 data tidak dapat terbaca dengan posisi LoRa penerima berada di lantai 6. Data yang diterima rusak atau muncul *noise* pada data sehingga proses deserialisasi tidak dapat dilakukan oleh LoRa penerima.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan modul LoRa dapat melakukan pengiriman data dengan baik dari lantai 4 sampai lantai 7 dengan posisi LoRa penerima (*concentrator*) terletak di lantai 6. Data dapat diterima dengan baik adalah ketika data dapat dilakukan deserialisasi oleh LoRa penerima untuk mengetahui isi dari data yang dikirimkan oleh LoRa pengirim dari masing-masing lantai. Jarak lantai yaitu 3 meter dengan ketebalan lantai 10-15 cm. Nilai RSSI dan SNR pada lantai 5 menunjukkan nilai minus yang paling tinggi dibandingkan dengan lantai 4, lantai 6, dan lantai 7 hal tersebut menunjukkan lokasi banyak mengalami *pathloss* sehingga kurang ideal ketika dipasang modul LoRa walaupun masih dapat mengirimkan data. Data yang dikirimkan tidak dapat diterima dengan baik ketika melakukan pengujian di lantai 3 dan lantai 8.

Untuk penelitian selanjutnya agar bisa lebih baik lagi terkait dengan pengujian perlu ditambahkan waktu pengiriman dan waktu penerima oleh *concentrator*, selanjutnya perlu dilakukan juga analisa spektrum menggunakan *spectrum analyzer* untuk mengetahui frekuensi yang digunakan dan frekuensi sekitar. Dengan penambahan parameter tersebut diharapkan mampu untuk mengoptimalkan proses pengujian LoRa pada penelitian ini.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. N. Aroeboesman, M. H. H. Ichsan, and R. Pramananda, "Tampilan Analisis Kinerja LoRa SX1278 Menggunakan Topologi Star Berdasarkan Jarak dan Besar Data Pada WSN," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 4, pp. 3860–3865, Apr. 2019.
- [2] F. H. E. Ratuloli, A. S. Budi, and A. Bhawiyuga, "Tampilan Implementasi Skema Anti-Collision Menggunakan Metode TDMA dan TPSN pada Sistem WSN Berbasis LoRa," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 283–290, Jan. 2021.
- [3] J. P. Shanmuga Sundaram, W. Du, and Z. Zhao, "A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solutions, and Open Issues," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 22, no. 1, 2020.

- [4] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. H. Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, no. 1. 2017.
- [5] A. R. Batong, P. Murdiyat, and A. H. Kurniawan, "Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik Di Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 1, no. 2, pp. 55–64, Dec. 2020.
- [6] L. Germani, V. Mecarelli, G. Baruffa, L. Rugini, and F. Frescura, "An IoT architecture for continuous livestock monitoring using lora LPWAN," *Electron.*, vol. 8, no. 12, Dec. 2019.
- [7] M. C. Al Fajar and O. N. Samijayani, "Realtime greenhouse environment monitoring based on LoRaWANProtocol using grafana," in *Proceeding - 2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices: Intelligent Systems for Present and Future Challenges, ISESD 2021*, 2021.
- [8] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, 2016.
- [9] P. Devi, D. Istianti, S. Y. Prawiro, N. Bogi, A. Karna, and I. A. Nursafa, "Analisis Performansi Teknologi Akses LPWAN LoRa Antares Untuk Komunikasi Data End Node," *Citee 2019*, 2019.
- [10] J. Y. Park, D. J. Kim, and Y. Lim, "Use of smart card data to define public transit use in Seoul, South Korea," *Transp. Res. Rec.*, no. 2063, 2008.
- [11] A. Muhaimin, A. B. Setiawan, and A. Sanjaya, "Sistem Keamanan Pintu dengan Android Menggunakan NODEMCU," *Pros. SEMNAS INOTEK (Seminar Nas. Inov. Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 248–253, Dec. 2020.
- [12] T. Darmanto, Antonius, and T. Sutrisno, "Penerapan Sensor Ldr Dan Sensor Pir Pada Prototype Penerangan Lampu Rumah," *J. InTekSis*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [13] Y. Hendrian, Y. P. Yudatama, and V. S. Pratama, "Jemuran Otomatis Menggunakan Sensor LDR, Sensor Hujan Dan Sensor Kelembaban Berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Komput.*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [14] D. Srivastava, A. Kesarwani, and S. Dubey, "Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 12, 2018.
- [15] M. I. Hakiki, U. Darusalam, and N. D. Nathasia, "Konfigurasi Arduino IDE Untuk Monitoring Pendeteksi Suhu dan Kelembapan Pada Ruang Data Center Menggunakan Sensor DHT11," *J. MEDIA Inform. BUDIDARMA*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [16] Adafruit, "DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors," *Adafruit Ind.*, 2021.