

## IMPLEMENTASI STATIC ROUTING PADA JARINGAN MESH PERANGKAT LoRa

L. Ahmad S. Irfan Akbar<sup>\*1</sup>, Misbahuddin<sup>1</sup>, Muhamad Syamsu Iqbal<sup>1</sup>, Giri Wahyu Wiriasto<sup>1</sup>,  
A.Sjamsjiar Rachman<sup>1</sup>, Djul Fikry Budiman<sup>1</sup>, Jumari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Universitas Mataram

Jl. Majapahit No.62, Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

\*Corresponding Author Email: irfan@unram.ac.id

---

### ABSTRAK

Perangkat LoRa sangat penting dalam kesuksesan Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) yang telah mencapai tingkat popularitas yang tinggi, menjadikannya salah satu pilihan terdepan dalam ranah Low Power Wide Area Network (LPWAN). Perangkat LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel jarak jauh dan memiliki konsumsi daya rendah. Setiap perangkat yang menggunakan protokol LoRa menganut arsitektur jaringan LoRaWAN, yaitu pada topologi bintang dimana node pengirim membutuhkan 1 hop untuk mencapai node gateway. Oleh karena itu penelitian ini mengimplementasikan static routing pada perangkat LoRa yang diuji pada topologi mesh untuk memperbanyak jumlah hop dari node pengirim ke node gateway, jika dalam kondisi geografis yang tidak memungkinkan node pengirim mencapai node gateway dalam 1 hop. Dalam upaya untuk mengukur efektivitas jaringan LoRa MESH yang menggunakan static routing, penelitian ini mengambil PDR (Packet Delivery Ratio) sebagai salah satu indikator kinerja. PDR digunakan untuk mengukur sejauh mana paket data yang dikirim berhasil mencapai tujuan akhir. Penelitian ini juga melakukan pengukuran tingkat packet loss guna mengevaluasi kemampuan jaringan dalam menjaga integritas data dalam berbagai situasi dan kondisi yang berbeda. Dari hasil pengujian yang dilakukan, packet loss mulai terjadi pada delay pengiriman data pada interval 3 detik yang menyebabkan nilai PDR maksimal 94,4%. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai payload dari 24byte hingga 192byte dengan masing-masing payload diujia selama 25 menit. Nilai PDR disetiap nilai payload dan delay pengiriman data menunjukkan bahwa payload tidak berpengaruh secara signifikan mempengaruhi PDR dan packet loss, tetapi semakin kecil interval delay transmisi data maka nilai PDR semakin kecil dan nilai packet loss semakin besar.

---

**Keyword:** Lora, Jaringan mesh, Payload, PDR, Packet Loss, static routing.

### 1. PENDAHULUAN

Perangkat komunikasi nirkabel yang mendukung koneksi local bagi jaringan internet of things (IoT) dapat dikelompokkan dalam tiga kategori berdasarkan jarak jangkauannya yaitu: perangkat berjarak jangkauan pendek (*short range*), jarak menengah menengah (*medium range*) dan jarak jauh (*long range*). Perangkat berjarak jangkauan pendek seperti: RFID/NFC (Chishti, King, & Banerjee, 2021), BLE 802.15.1 (Lounis, 2020) atau WiFi 802.11x. (Jiang, 2015) dan perangkat berjarak jangkauan menengah seperti: WPAN 802.15.3 atau Zigbee 802.15.4 (Fraile, 2020) digunakan untuk pengembangan jaringan nirkabel personal atau diistilahkan dengan Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN). Sementara perangkat yang berjarak jangkauan lebih jauh yaitu: SigFox, LoRa atau NB-IoT digunakan untuk pengembangan jaringan jarak jauh yang diistilahkan dengan *Low Power Wide Area Networks* (LPWANs) (Soy, 2023).

Saat ini, kebanyakan aplikasi IoT seperti smart city menggunakan perangkat berjarak jangkauan jauh seperti NB-IoT [6] (Song, 2018). Namun perangkat ini mengkonsumsi energi yang lebih tinggi sehingga tidak cocok untuk aplikasi IoT yang

membutuhkan perangkat komunikasi yang disuplai dari baterai, seperti aplikasi *smart agricultur* atau system monitoring. Perangkat alternatif lain yang dapat digunakan untuk jaringan dengan konsumsi energi yang lebih rendah adalah Sigfox (Aernouts, 2018), (Janssen, 2018). Namun perangkat ini tidak tangguh terhadap interferensi dari sinyal lain yang sama frekuensinya. Oleh karena itu, diperlukan perangkat komunikasi nirkabel yang berjarak jangkauan jauh dan mengkonsumsi energi yang lebih rendah namun tangguh terhadap interferensi. Perangkat tersebut adalah Long Range (LoRaWAN) (Misbahuddin M. a., 2020)

LoRa adalah teknologi komunikasi nirkabel yang ditujukan untuk membangun jaringan perangkat Internet of Things (IoT). Fitur utamanya adalah jarak jangkauan yang jauh hingga beberapa Km dalam kondisi line of sight, konsumsi daya yang rendah, dan kecepatan data yang rendah. Parameter konfigurasi seperti Spreading Factor (SF) dapat memperluas jarak komunikasi, meskipun mengorbankan kecepatan data yang lebih rendah (Almuhaya, 2022). Parameter-parameter transmisi LoRa dapat dikombinasikan agar mendapatkan jarak jangkauan yang maksimal dengan kualitas Packet Delivery Ratio (PDR) yang baik (Misbahuddin m. a., 2021)

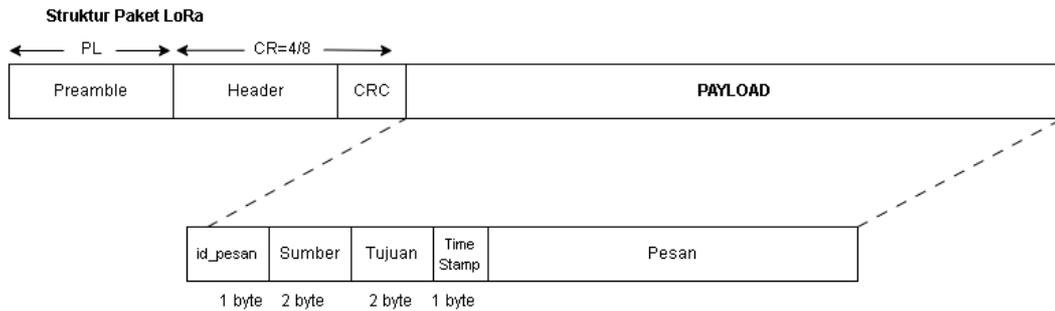
Aplikasi IoT yang menggunakan teknologi komunikasi LoRa pada umumnya menganut arsitektur jaringan LoRaWAN (Haxhibeqiri, 2018). LoRaWAN menggunakan topologi star dimana node akhir (seperti node sensor) yang dilengkapi perangkat LoRa mengirimkan data ke gateway LoRaWAN. Aplikasi yang menggunakan arsitektur LoRaWAN biasanya mengupayakan situasi dimana node akhir dapat mencapai gateway LoRaWAN dengan 1 hop. Kondisi ini dapat menjadi masalah ketika diaplikasikan pada kondisi geografis yang luas atau dengan banyak halangan sehingga jangkauan dari perangkat loRa tidak maksimal, sementara penambahan jumlah gateway bukanlah solusi yang baik dengan pertimbangan biaya ekonomi.

Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah upaya telah diajukan untuk memperluas area topologi star LoRaWAN melalui komunikasi multi hop (Cotrim, 2020). Komunikasi multi hop di LoRaWAN memungkinkan untuk memperluas jarak node dan gateway tanpa menambah infrastruktur LORAWAN, prinsip yang mendasarinya adalah node akhir dapat berkomunikasi dengan node perantara yang bertindak sebagai penerus paket data menuju gateway, dengan menggunakan identifikasi alamat perangkat keras node akhir, perantara dan gateway.

Dalam makalah ini kami bertujuan untuk mengimplementasikan komunikasi LoRa pada jaringan Mesh dengan melibatkan perutean (routing) berdasarkan alamat perangkat keras. Pengujian dilakukan dengan menghitung PDR (Packet Delivery Ratio) dan packet loss. Beberapa hal yang mendorong untuk melakukan uji kinerja perangkat LoRa pada jaringan berbasis Mesh adalah : keterbatasan arsitektur dan infrastruktur LORAWAN, penghematan biaya dan energi dalam pengiriman data jarak jauh, dan peluang untuk melakukan desentralisasi agar dimasa depan banyak pihak dapat berpartisipasi dan berkontribusi dalam mengelola jaringan LORAWAN.

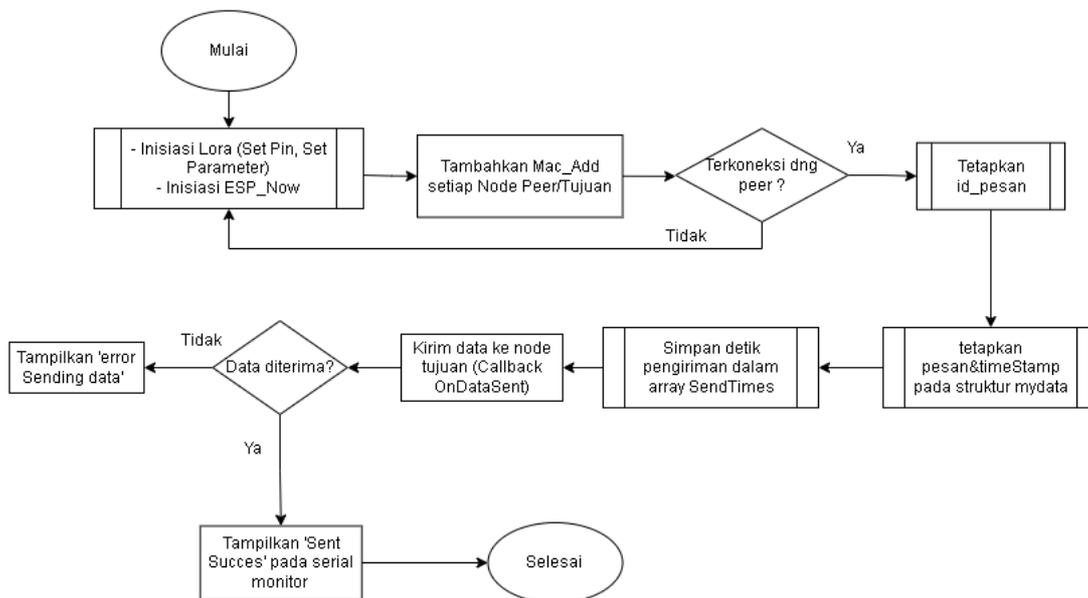
## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan alamat perangkat keras (Mac Address) sebagai jalur untuk mengirimkan data ke node tujuan. Parameter-parameter dalam pengiriman seperti : id\_pesan, node sumber, node tujuan, waktu pengiriman dan data atau pesan yang dikirim disimpan pada payload, seperti tampak pada Gambar 1. Besarnya payload akan divariasikan pada setiap node pengirim untuk melihat pengaruhnya pada nilai *Packet Delivery Ratio* (PDR) yang diterima pada node akhir.



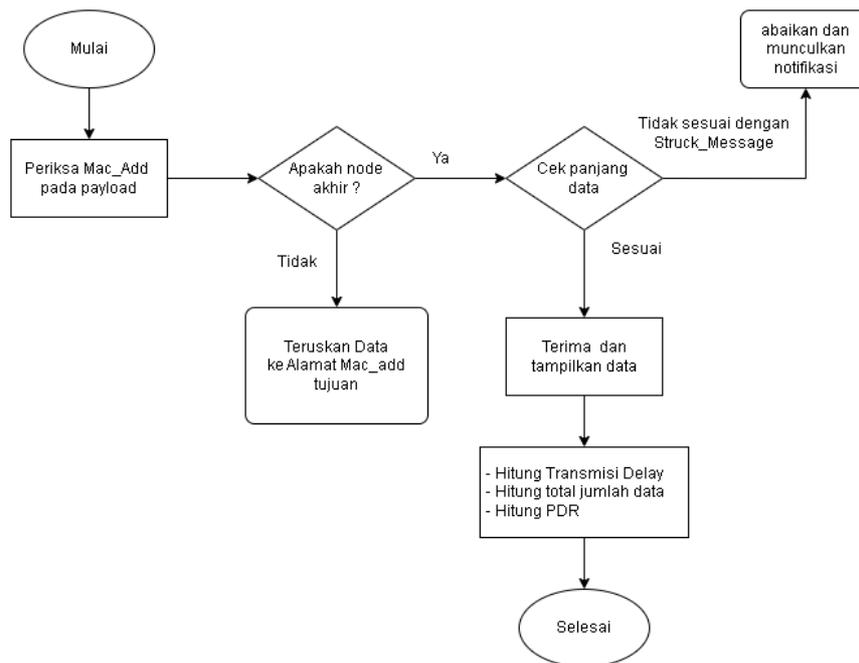
**Gambar 1.** Struktur Paket LoRa standar

Gambar 2 adalah diagram alir pada node pengirim. Program pertama kali akan melakukan inisialisasi pin-pin pada perangkat keras, library yang digunakan dan lain-lain. Program kemudian melakukan pemeriksaan koneksi ke node-node tetangga yang alamat perangkatnya telah didaftarkan pada node pengirim. Ketika koneksi telah terbentuk maka node akan mengirimkan data ke setiap node tetangga yang terdaftar.



**Gambar 2.** Flow Chart Pengiriman Data Ke Node Peers

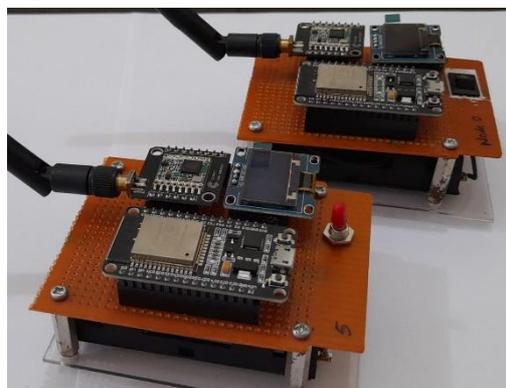
Gambar 3 menunjukkan diagram alir program pada node tetangga, Pada node penerima akan diperiksa kesesuaian panjang data dan program akan memeriksa apakah node penerima ini merupakan node akhir atau bukan, jika merupakan node akhir maka data akan disimpan jika bukan node akhir data akan diteruskan ke node selanjutnya.



Gambar 3. Proses Pada Node Peers

### Kerangka Eksperimental

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian adalah 8 perangkat ESP32 yang dirangkai dengan perangkat LoRa transceiver SX1276 seperti yang tampak pada Gambar 4. ESP2 diisi dengan program sebagai node pengirim dan node perantara atau node akhir. Tabel 1 menunjukkan pengaturan parameter LoRa yang digunakan pada penelitian.

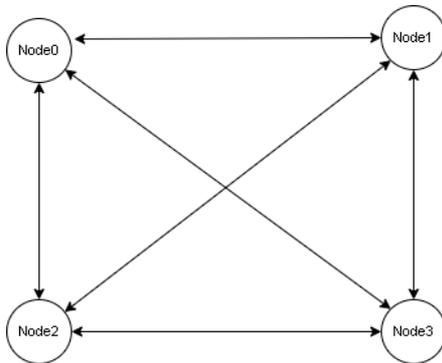


Gambar 4. ESP32 dan LoRa SX1276

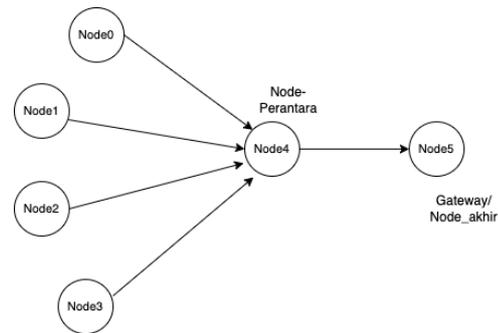
Tabel 1. Pengaturan Parameter LoRa

Parameter	Nilai
Spreading Factor (SF)	7
Bandwidth (BW)	125kHz
Preamble length (PL)	8
Transmission Power (PTX)	+3dBm
Coding Rate (CR)	4/7

Pengujian dilakukan pada topologi yang berbeda seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6



Gambar 5. Topologi 1



Gambar 6. Topologi 2

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan selama 25 menit dengan masing-masing variasi delay selama 5 menit, delay pengiriman dimulai dari 5detik hingga 1 detik. Selain itu diuji jika dengan variasi delay yang berbeda-beda dari 24 byte hingga 192 byte. Gambar 7 menunjukkan pendaftaran setiap alamat perangkat keras node tetangga, Ketika koneksi atau peer telah terbentuk seperti pada Gambar 8 maka barulah data dapat dikirimkan secara berkala sesuai dengan delay yang diberikan.

```
sketch_nov17a$  
1 // Daftarkan Mac Address node tetangga  
2  
3 uint8_t broadcastAddress1[] = {0x0C, 0xB8, 0x15, 0xD8, 0x25, 0x58};  
4 uint8_t broadcastAddress2[] = {0x0C, 0xB8, 0x15, 0xC4, 0x1A, 0x90};  
5 uint8_t broadcastAddress3[] = {0x0C, 0xB8, 0x15, 0xC5, 0x05, 0xC8};  
6  
7 // callback ondataSet saat data dikirim  
8 void onDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {  
9     char macStr[18];  
10    sprintf(macStr, sizeof(macStr), "%02x:%02x:%02x:%02x:%02x:%02x",  
11    mac_addr[0], mac_addr[1], mac_addr[2], mac_addr[3], mac_addr[4], mac_addr[5]);  
12  
13    // Memetakan alamat MAC ke nama Node  
14    const char* receiveNode = "Unknown";  
15    if (memcmp(mac_addr, broadcastAddress1, 6) == 0) {  
16        receiveNode = "Node 1";  
17    } else if (memcmp(mac_addr, broadcastAddress2, 6) == 0) {  
18        receiveNode = "Node 2";  
19    } else if (memcmp(mac_addr, broadcastAddress3, 6) == 0) {  
20        receiveNode = "Node 3";  
21    }  
}
```

Gambar 7. Daftar Mac Address Tetangga dan callback pengiriman data

```
// register peer
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;

// register first peer
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress1, 6);
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return;}
// register second peer
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress2, 6);
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return; }
/// register third peer
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress3, 6);
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return; }
```

Gambar 8. Membentuk Peer dengan node tetangga

## Pengujian PDR dan Packet Loss Pada Topologi Mesh

Ouput pada serial monitor node akhir dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pada node dapat dikenali sumber dari data yang dikirim, id data dan jumlah data yang diterima dari setiap node.

```
14:28:01.604 -> Sent with success
14:28:01.604 -> Packet Delivery Ratio (PDR): 0.00%
14:28:01.604 -> Packet to : Node 1 - Delivery Success Message Num 3
14:28:01.604 -> Data sent : This is Node 0 - Num 2, Payload Size: 96
14:28:01.604 -> Packet to : Node 2 - Delivery Success Message Num 3
14:28:01.604 -> Data sent : This is Node 0 - Num 2, Payload Size: 96
14:28:01.651 -> Packet to : Node 0 - Delivery Success Message Num 3
14:28:01.651 -> Data sent : This is Node 0 - Num 2, Payload Size: 96
14:28:01.651 ->
14:28:01.885 -> Data received from Node 0
14:28:01.885 -> Data Received Count: 7
14:28:01.885 -> Received Data: This is Node 0 - Num 7
14:28:01.885 -> Transmission Delay: 4 seconds Message Num 7
14:28:01.885 ->
14:28:01.885 -> Data received from Node 1
14:28:01.885 -> Data Received Count: 8
14:28:01.885 -> Received Data: This is Node 1 - Num 7
14:28:01.885 -> Transmission Delay: 4 seconds Message Num 7
14:28:01.885 ->
14:28:02.709 -> Data received from Node 2
14:28:02.709 -> Data Received Count: 9
14:28:02.709 -> Received Data: This is Node 2 - Num 5
14:28:02.709 -> Transmission Delay: 5 seconds Message Num 5
14:28:02.709 ->
14:28:03.642 -> Sent with success
```

Gambar 9. Contoh Output Node akhir

```
:53.916 -> Data received from Node 4
:53.963 -> Bytes received: 72
:53.963 -> Received Data - ID: 301
:53.963 -> Received Data - Char: This is Node 1 -
:53.963 -> Total Packets Received: 1169
:53.963 ->
:54.432 -> =====
:54.432 -> Packet Delivery Ratio (PDR): 97.50%
:54.432 -> Total Packets Received: 1170
:54.432 -> =====
```

Gambar 10. Perhitungan PDR node akhir

### Tabel 2 dan

Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian nilai PDR dan jumlah packet loss. Packet loss mulai terjadi Ketika delay pengiriman adalah 3 detik pada setiap node atau Ketika node akhir menerima 400 data setiap 3 detik selama 25 menit.

**Tabel 2. PDR dan Packet loss pada topologi 1**

Delay	Payload (Byte)							
	24		48		96		192	
	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost
5000	100	0	100	0	100	0	100	0
4000	100	0	100	0	100	0	100	0
3000	100	0	99,3	2	99	3	99	3
2500	98,6	5	98,3	6	98,3	6	98,9	4
2000	98	9	98	9	97,8	10	98	9
1500	96,2	23	97,3	16	97,7	14	97,5	15
1000	95,6	40	95,8	38	94,7	48	94,4	50

**Tabel 3. PDR dan Packet loss pada topologi 2**

Delay	Payload (Byte)							
	24		48		96		192	
	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost	PDR (%)	Packet Lost
5000	100	0	100	0	100	0	100	0
4000	100	0	100	0	100	0	100	0
3000	99	4	99,8	1	99,5	2	99,5	2
2500	98,3	8	98,5	7	99,4	3	99,4	3
2000	98,5	9	99,2	5	98,7	8	98,8	7
1500	98	16	99,5	4	98,8	10	98,5	12
1000	97	36	97,2	30	97,8	27	98	24

#### 4. KESIMPULAN

Implementasi routing pada jaringan mesh perangkat LoRa dapat diimplementasikan dengan menggunakan alamat perangkat keras sebagai jalur pengiriman data. Nilai PDR akan didapatkan secara maksimal ketika node gateway atau node akhir menerima maksimal 130 data setiap detiknya.

## 5. DAFTAR REFERENSI

1. Aernouts, M. a. (2018). Sigfox and LoRaWAN Datasets for Fingerprint Localization in Large Urban and Rural Areas. *Data*, 3.
2. Almuahaya, M. A. (2022). A Survey on LoRaWAN Technology: Recent Trends, Opportunities, Simulation Tools and Future Directions. *Electronics*.
3. Chishti, M. S., King, C.-T., & Banerjee, A. (2021). Exploring Half-Duplex Communication of NFC Read/Write Mode for Secure Multi-Factor Authentication. *IEEE Access*, 6344-6357.
4. Cotrim, J. R. (2020). LoRaWAN Mesh Networks: A Review and Classification of Multihop Communication. *Sensors*, 20, 4273. doi:10.3390/s20154273
5. Fraile, L. a. (2020). A Comparative Study of LoRa and IEEE 802.15.4-Based IoT Deployments Inside School Buildings. *IEEE Access*, 8, 160957-160981.
6. Haxhibeqiri, J. a. (2018). A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors*, 18, 3995. doi:10.3390/s18113995
7. Janssen, T. a. (2018). Outdoor Fingerprinting Localization Using Sigfox. *2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, (pp. 1-6). Nantes, France.
8. Jiang, P. a. (2015). Indoor Mobile Localization Based on Wi-Fi Fingerprint's Important Access Point. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11, 429104. doi:10.1155/2015/429104
9. Lounis, K. a. (2020). Attacks and Defenses in Short-Range Wireless Technologies for IoT. *IEEE Access*, 88892-88932.
10. Misbahuddin, M. a. (2020). Kinerja jaringan saraf berbasis backpropagation dan LVQ sebagai algoritme fingerprint RSS LoRa untuk penentuan posisi pada ruang terbuka. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8, 121-126. Retrieved from <https://jtsiskom.undip.ac.id/article/view/13567>
11. Misbahuddin, m. a. (2021). Compromise of 915 MHz LoRa Transmission Parameters in A Single-hop Uplink. *2021 International Conference on Computer System, Information Technology, and Electrical Engineering (COSITE)*, (pp. 63-68). Banda Aceh, Indonesia. doi:10.1109/COSITE52651.2021.9649499
12. Song, Q. a. (2018). CSI Amplitude Fingerprinting-Based NB-IoT Indoor Localization. *IEEE Internet of Things Journal*, 5, 1494-1504.
13. Soy, H. (2023). Coverage Analysis of LoRa and NB-IoT Technologies on LPWAN-Based Agricultural Vehicle Tracking Application. *Sensors*, 23. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8859>