

ANALISIS PERBANDINGAN *TELEMETRY* WIFI DAN LORA PADA *DRONE MONITORING SYSTEM* BERBASIS IOT UNTUK TRANSMISI DATA *REAL-TIME* DI LINGKUNGAN POLTEKAD

Muhamad Rahadian Santoso, Yohanes Dwi Cahyono, Gatut Yulisusianto

Rekayasa Keamanan Siber, Politeknik Angkatan Darat

Kesatrian Poltekad Jl. Raya Anggrek Desa Pendem, Kec. Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur

mhs.cyber8.mrahadians@poltekad.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan drone berbasis IoT meningkatkan kebutuhan sistem *telemetry real-time* yang stabil dan efisien. Permasalahan yang dihadapi adalah perbedaan performa komunikasi *telemetry* antara teknologi WiFi dan LoRa dalam pengiriman data *monitoring drone*, terutama pada kondisi lingkungan dengan interferensi elektromagnetik yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan performa komunikasi *telemetry* berbasis WiFi dan LoRa pada sistem *monitoring drone* berbasis IoT. Metode penelitian dilakukan dengan membangun drone tipe *quadcopter* yang dilengkapi *flight controller*, GPS, dan ESP32 untuk mengolah data *telemetry*. Data dikirim menggunakan protokol MQTT menuju *server* dan ditampilkan pada *dashboard monitoring* secara *real-time*. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi jarak dan kondisi lingkungan dengan parameter *Latency*, *Packet Loss*, kestabilan transmisi, dan jangkauan komunikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa WiFi memiliki keunggulan pada kecepatan transmisi dan *Latency* rendah, namun kestabilannya menurun pada lingkungan dengan interferensi tinggi. Sebaliknya, LoRa memiliki jangkauan lebih luas, kestabilan komunikasi lebih baik, dan *Packet Loss* lebih rendah, meskipun kecepatan transmisinya lebih rendah dibandingkan WiFi. Berdasarkan hasil tersebut, LoRa lebih optimal untuk *monitoring drone* jarak jauh, sedangkan WiFi lebih sesuai untuk kebutuhan *monitoring real-time* pada area terbatas.

Kata kunci: Drone, IoT, LoRa, Telemetry, WiFi.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things (IoT)* telah mendorong terbentuknya sistem *monitoring* yang mampu menghubungkan perangkat fisik, sensor, dan jaringan komunikasi untuk melakukan pengumpulan serta pengiriman data secara otomatis. IoT memungkinkan perangkat saling terhubung dan bertukar informasi secara *real-time* sehingga dapat digunakan untuk mendukung proses pemantauan dan pengambilan keputusan berbasis data [1]. Salah satu implementasi IoT yang berkembang pesat adalah integrasi dengan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau drone sebagai platform bergerak untuk pemantauan wilayah, pengawasan keamanan, pemetaan, dan pengambilan data lingkungan [2], [3], [4].

Drone memiliki kemampuan menjangkau area yang sulit diakses secara langsung, sehingga cocok digunakan sebagai perangkat *monitoring* pada lingkungan yang luas. Dalam sistem *monitoring drone*, data seperti koordinat GPS, ketinggian, kecepatan, status penerbangan, dan kondisi baterai harus dikirimkan secara cepat dan stabil ke *ground control station* atau *server monitoring*. Oleh karena itu, sistem *telemetry* menjadi komponen penting karena menentukan kualitas transmisi data antara drone dan sistem penerima. Kajian mengenai *telemetry UAV* menunjukkan bahwa kualitas komunikasi sangat dipengaruhi oleh jenis protokol, karakteristik jaringan, kondisi lingkungan, dan jarak komunikasi [5].

WiFi merupakan salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang banyak digunakan karena memiliki kecepatan transfer data tinggi dan latensi rendah.

Karakteristik ini menjadikan WiFi sesuai untuk sistem *monitoring* yang membutuhkan respons cepat pada area terbatas. Namun, performa WiFi dapat menurun ketika jarak komunikasi semakin jauh, terdapat hambatan fisik, atau terjadi interferensi sinyal. Di sisi lain, LoRa merupakan teknologi komunikasi *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* yang memiliki keunggulan pada jangkauan komunikasi jauh dan konsumsi daya rendah. LoRa banyak digunakan pada sistem IoT yang membutuhkan transmisi data berukuran kecil, stabil, dan berjangkauan luas [6], [7].

Meskipun WiFi dan LoRa telah banyak digunakan dalam sistem IoT, pemilihan teknologi *telemetry* untuk sistem *monitoring drone* tetap memerlukan pengujian langsung pada kondisi lingkungan operasional yang sama. Hal ini penting karena WiFi dan LoRa memiliki karakteristik yang berbeda. WiFi cenderung unggul pada *throughput* dan *Latency*, sedangkan LoRa cenderung unggul pada jangkauan dan kestabilan komunikasi jarak [7], [8], [9]. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan dan membandingkan performa *telemetry* WiFi dan LoRa pada sistem *monitoring drone* berbasis IoT di lingkungan Politeknik Angkatan Darat.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana implementasi sistem *monitoring drone* berbasis IoT menggunakan *telemetry* WiFi dan LoRa, serta bagaimana perbandingan kinerja kedua teknologi tersebut berdasarkan parameter jangkauan komunikasi, *Latency*, *Packet Loss*, *throughput*, dan kestabilan koneksi. Penelitian ini diharapkan dapat

memberikan dasar teknis dalam pemilihan teknologi telemetri yang tepat untuk sistem *monitoring drone*, khususnya pada lingkungan yang membutuhkan transmisi data *real-time* dengan cakupan area yang berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Internet of Things (IoT)

Internet of Things merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet agar mampu melakukan proses sensing, pengiriman data, pemrosesan informasi, dan pengendalian secara otomatis. Dalam sistem IoT, sensor dan mikrokontroler berperan sebagai pengumpul data, sedangkan jaringan komunikasi digunakan untuk mengirimkan data ke server atau *platform monitoring*. IoT banyak diterapkan pada bidang industri, pertanian, transportasi, kesehatan, keamanan, dan sistem *monitoring* karena mampu mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data secara *real-time* [1].

2.2. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle atau *drone* merupakan wahana udara tanpa awak yang dapat dikendalikan secara manual maupun otomatis. *Drone* dapat membawa berbagai perangkat seperti GPS, sensor, kamera, modul komunikasi, dan mikrokontroler. Dalam sistem *monitoring* berbasis IoT, *drone* berfungsi sebagai node bergerak yang mengumpulkan data dari lingkungan dan mengirimkannya ke sistem pemantauan. Penggunaan *drone* pada sistem IoT memungkinkan cakupan area *monitoring* menjadi lebih luas dibandingkan sensor tetap, khususnya pada wilayah yang sulit dijangkau secara langsung (Martínez-Heredia et al., 2024).

2.3. Sistem Telemetri Drone

Telemetri *drone* merupakan proses pengukuran dan pengiriman data dari *drone* ke ground control station atau server *monitoring*. Data telemetri dapat berupa posisi GPS, ketinggian, kecepatan, tegangan baterai, status penerbangan, dan data sensor lainnya. Pada sistem *drone*, telemetri memiliki peran penting karena menentukan kemampuan operator dalam memantau kondisi *drone* secara *real-time*. Kegagalan telemetri dapat menyebabkan keterlambatan informasi, hilangnya data, bahkan gangguan dalam proses pengendalian dan pemantauan *drone* [5].

2.4. WiFi pada Sistem Monitoring Drone

WiFi merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang memiliki keunggulan pada kecepatan transfer data dan *Latency* rendah. Pada sistem *monitoring drone*, WiFi dapat digunakan untuk mengirimkan data telemetri ke server atau dashboard *monitoring* dalam area terbatas. Keunggulan WiFi terletak pada kemampuannya mengirimkan data dengan *throughput* yang relatif tinggi. Namun, WiFi memiliki keterbatasan pada jarak komunikasi, ketahanan

terhadap interferensi, dan kestabilan sinyal ketika digunakan pada area terbuka yang luas atau lingkungan dengan banyak hambatan fisik.

2.5. LoRa pada Sistem Monitoring Drone

Long Range atau LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa banyak digunakan dalam sistem IoT karena mampu mengirimkan data berukuran kecil pada area luas. Pada sistem *monitoring drone*, LoRa dapat digunakan untuk mengirimkan data telemetri seperti koordinat GPS, status baterai, dan data sensor dengan tingkat kestabilan komunikasi yang baik. Meskipun demikian, LoRa memiliki keterbatasan pada data rate sehingga tidak sesuai untuk pengiriman data berukuran besar seperti video *real-time* [6], [7]

2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai komunikasi LoRa pada UAV telah banyak dilakukan. Ghazali et al. [6] membahas implementasi jaringan komunikasi LoRa untuk UAV dan menekankan pentingnya stabilitas komunikasi dalam pengiriman data *real-time*. Paredes et al. [7] menjelaskan bahwa penerapan LoRa pada flying ad hoc network memiliki peluang besar untuk komunikasi jarak jauh, tetapi masih menghadapi tantangan pada data rate, mobilitas node, dan kondisi kanal komunikasi. Zhang et al. [8] meneliti optimasi pengumpulan data UAV menggunakan LoRa 2.4 GHz pada daerah terpencil tanpa infrastruktur komunikasi. Selain itu, Martínez-Heredia et al. [10] mengembangkan sistem radio beacon jarak jauh dan berbiaya rendah untuk *drone* kecil. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini memiliki perbedaan karena berfokus pada implementasi dan perbandingan langsung telemetri WiFi dan LoRa pada sistem *monitoring drone* berbasis IoT dengan skenario pengujian yang sama di lingkungan Politeknik Angkatan Darat.

3. METODE PENELITIAN

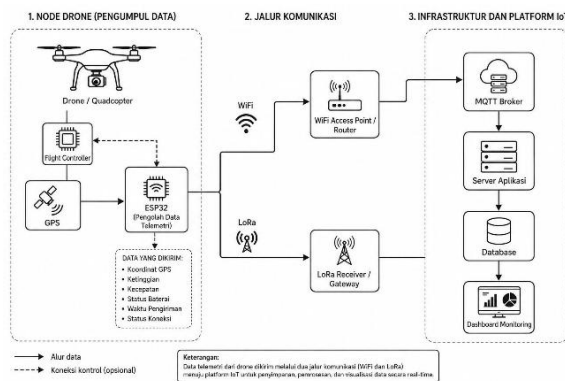
3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan implementasi sistem *monitoring drone* berbasis IoT dan pengujian performa dua teknologi telemetri, yaitu WiFi dan LoRa [11], [12]. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan kinerja kedua teknologi berdasarkan parameter *Latency*, *Packet Loss*, *throughput*, jangkauan komunikasi, dan kestabilan koneksi [13]. Objek penelitian berupa *drone* tipe *quadcopter* yang dilengkapi perangkat telemetri dan sistem *monitoring* berbasis *dashboard*.

3.2. Arsitektur Sistem

Sistem yang dirancang terdiri atas *drone*, *flight controller*, GPS, ESP32, modul WiFi, modul LoRa, *MQTT broker*, server, database, dan dashboard *monitoring*. Drone berfungsi sebagai platform

pengumpul data. GPS digunakan untuk memperoleh data koordinat, sedangkan ESP32 digunakan untuk membaca, memproses, dan mengirimkan data telemetri. Pada skenario pertama, data dikirimkan menggunakan WiFi. Pada skenario kedua, data dikirimkan menggunakan LoRa. Data yang diterima oleh server kemudian ditampilkan pada dashboard *monitoring* secara *real-time*.



Gambar 1. Arsitektur sistem *monitoring drone* berbasis IoT

Berdasarkan Gambar 1, alur sistem dimulai dari pembacaan data telemetri pada *drone*, kemudian data diproses oleh ESP32. Data tersebut dikirim melalui modul komunikasi WiFi atau LoRa menuju server. Server menerima data melalui protokol MQTT dan menampilkannya pada dashboard *monitoring* sehingga operator dapat memantau kondisi *drone* secara langsung.

3.3. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

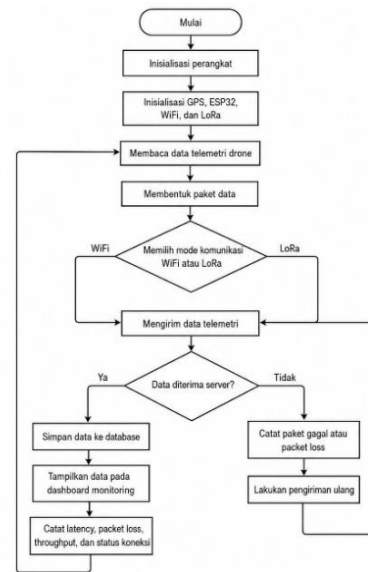
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *drone* tipe quadcopter, flight controller, GPS, ESP32, modul WiFi, modul LoRa, antena LoRa, baterai, dan laptop atau komputer server [14]. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE atau PlatformIO untuk pemrograman ESP32, MQTT broker untuk pengiriman data, database untuk penyimpanan data, dan dashboard *monitoring* berbasis web untuk menampilkan data telemetri.

3.4. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai ketika *drone* dinyalakan dan perangkat telemetri melakukan inisialisasi. GPS membaca data koordinat, sedangkan ESP32 membaca data telemetri yang akan dikirimkan. Setelah data diperoleh, ESP32 mengirimkan data melalui WiFi atau LoRa sesuai skenario pengujian. Data diterima oleh server melalui MQTT broker, kemudian disimpan dan ditampilkan pada dashboard *monitoring*. Proses ini dilakukan secara berulang selama pengujian berlangsung.

Gambar 2. Flowchart alur kerja sistem telemetri *drone* Berdasarkan Gambar 2, sistem melakukan proses inisialisasi perangkat, pembacaan data, pengiriman data, penerimaan data, penyimpanan data, dan visualisasi pada dashboard. Jika koneksi gagal,

sistem akan melakukan percobaan pengiriman ulang atau mencatat status kegagalan transmisi.

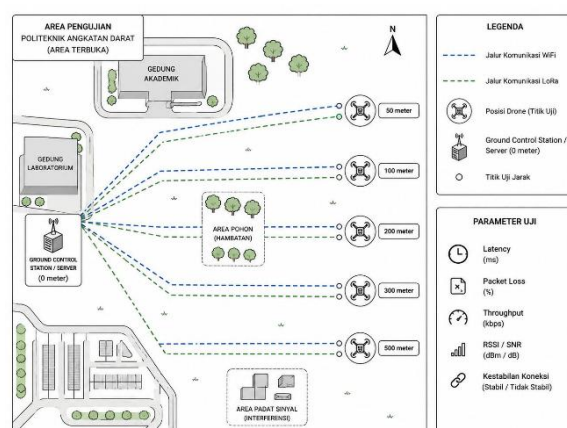


Gambar 2. Flowchart alur kerja sistem telemetri *drone*

Gambar 2. Flowchart alur kerja sistem telemetri *drone*

3.5. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan di lingkungan Politeknik Angkatan Darat dengan variasi jarak 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, dan 500 m. Setiap skenario diuji menggunakan dua teknologi komunikasi, yaitu WiFi dan LoRa. Pada setiap jarak, pengiriman data dilakukan sebanyak 100 paket dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Pengujian dilakukan pada kondisi area terbuka dengan vegetasi ringan di sekitar Poltekad. Parameter yang diamati meliputi *Latency*, *Packet Loss*, *throughput*, dan kestabilan koneksi.



Gambar 3. Skenario pengujian telemetri WiFi dan LoRa

Gambar 3. Skenario Pengujian

3.6. Parameter Pengujian

Parameter *latency* digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan data dari perangkat pengirim hingga diterima oleh server. *Packet Loss* digunakan untuk mengetahui persentase paket data yang hilang

selama proses transmisi. *Throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang berhasil dikirim dalam satuan waktu tertentu.

3.7. Rumus Pengujian

$$\text{Packet Loss (\%)} = \left(\frac{P_{\text{kirim}} - P_{\text{terima}}}{P_{\text{kirim}}} \right) \times 100\%$$

Packet Loss dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Packet Loss (\%)} = ((\text{Paket dikirim} - \text{Paket diterima}) / \text{Paket dikirim}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{PDR (\%)} = \left(\frac{P_{\text{terima}}}{P_{\text{kirim}}} \right) \times 100\%$$

Packet Delivery Ratio dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{PDR (\%)} = (\text{Paket diterima} / \text{Paket dikirim}) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Latency Rata-rata} = \frac{\sum T_{\text{Latency}}}{P_{\text{terima}}}$$

Latency rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Latency rata-rata} = \text{Total Latency} / \text{Jumlah paket diterima} \quad (3)$$

$$\text{Throughput} = \frac{D_{\text{terima}}}{t_{\text{pengiriman}}}$$

Throughput dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\text{Throughput} = \text{Total data diterima} / \text{Waktu pengiriman} \quad (4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Sistem *monitoring drone* berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan *drone* tipe *quadcopter*, ESP32, GPS, modul WiFi, modul LoRa, *MQTT broker*, server, dan *dashboard monitoring*. Data telemetri yang ditampilkan pada *dashboard* meliputi koordinat GPS, ketinggian, status koneksi, waktu pengiriman, dan status penerimaan data. Implementasi dilakukan dalam dua skenario, yaitu pengiriman data menggunakan WiFi dan pengiriman data menggunakan LoRa.

4.2 Hasil Pengujian Latency

Tabel 1. Hasil pengujian *latency* WiFi dan LoRa

Jarak	Latency WiFi	Latency LoRa	Keterangan
50 m	12 ms	185 ms	Koneksi Sangat Stabil
100 m	25 ms	192 ms	WiFi mulai berfluktuasi
200 m	85 ms	198 ms	Latency WiFi meningkat tajam
300 m	210 ms	205 ms	LoRa lebih stabil dari WiFi
500 m	Timed Out	215 ms	WiFi kehilangan koneksi

Berdasarkan Tabel 1, WiFi memiliki *Latency* jauh lebih rendah pada jarak dekat, namun meningkat drastis seiring bertambahnya hambatan dan jarak, sedangkan LoRa mempertahankan *latency* yang konsisten meskipun lebih tinggi secara nominal.

4.3 Hasil Pengujian Packet Loss

Tabel 2. Hasil pengujian *Packet Loss* WiFi dan LoRa

Jarak	Paket Dikirim	Paket Diterima WiFi	Packet Loss WiFi	Paket Diterima LoRa	Packet Loss LoRa
50 m	100	100	0%	100	0%
100 m	100	98	2%	100	0%
200 m	100	85	15%	99	1%
300 m	100	40	60%	98	2%
500 m	100	0	100%	97	3%

Berdasarkan Tabel 2, LoRa mampu mempertahankan *Packet Loss* di bawah 5% hingga jarak 500 meter, membuktikan kestabilan jangkauannya dibandingkan WiFi yang mengalami kegagalan transmisi total di atas 300 meter. Kondisi ini menunjukkan bahwa LoRa memiliki kestabilan komunikasi yang lebih baik pada jarak jauh. Hasil ini sejalan dengan karakteristik LoRa yang dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah (Ghazali et al., 2021; Paredes et al., 2023).

4.4 Hasil Pengujian Throughput

Tabel 3. Hasil pengujian *throughput* WiFi dan LoRa

Jarak	Throughput WiFi	Throughput LoRa	Keterangan
50 m	850 kbps	18 kbps	WiFi sangat unggul (jarak dekat)
100 m	480 kbps	17.2 kbps	Penurunan WiFi mulai terlihat
200 m	120 kbps	15 kbps	WiFi mengalami degradasi berat
300 m	25 kbps	13.8 kbps	WiFi hampir kehilangan koneksi
500 m	0 kbps (N/A)	12 kbps	Hanya LoRa yang sanggup mengirim data

Berdasarkan Tabel 3, WiFi menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan LoRa. Hal ini disebabkan WiFi dirancang untuk pengiriman data dengan kapasitas lebih besar, sedangkan LoRa lebih difokuskan pada pengiriman data kecil dalam jarak jauh. Dengan demikian, WiFi lebih sesuai untuk *monitoring* pada area terbatas yang membutuhkan pengiriman data cepat, sedangkan LoRa lebih sesuai untuk pengiriman data telemetri ringan pada area yang lebih luas.

4.5 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa WiFi dan LoRa memiliki karakteristik performa yang berbeda. WiFi unggul pada *Latency* dan *throughput*, sehingga lebih sesuai digunakan untuk *monitoring drone* pada jarak dekat atau area terbatas yang membutuhkan respons cepat. Namun, performa WiFi menurun ketika jarak komunikasi bertambah atau ketika terdapat interferensi sinyal. Sebaliknya, LoRa memiliki *Latency* yang lebih tinggi dan *throughput* yang lebih rendah, tetapi mampu mempertahankan koneksi pada jarak yang lebih jauh dengan *Packet Loss* yang lebih kecil.

Perbedaan performa tersebut disebabkan oleh karakteristik dasar masing-masing teknologi. WiFi dirancang untuk komunikasi berkecepatan tinggi dalam area lokal, sedangkan LoRa dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan data rate rendah dan konsumsi daya rendah. Pada konteks sistem *monitoring drone* berbasis IoT, pemilihan teknologi telemetri harus disesuaikan dengan kebutuhan operasional. Jika sistem membutuhkan pengiriman data cepat pada jarak dekat, WiFi menjadi pilihan yang lebih tepat. Namun, jika sistem membutuhkan jangkauan luas dan kestabilan koneksi, LoRa lebih sesuai digunakan. Hasil ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa LoRa memiliki potensi besar untuk komunikasi UAV dan IoT jarak jauh, tetapi memiliki keterbatasan pada kapasitas pengiriman data [6], [7], [15]

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem *monitoring drone* berbasis IoT dapat berjalan menggunakan dua teknologi telemetri, yaitu WiFi dan LoRa. WiFi menghasilkan *Latency* rata-rata sebesar 12–85 ms dan *throughput* sebesar 120–850 kbps pada jarak 50–200 meter, sehingga lebih sesuai untuk *monitoring* jarak dekat dengan kebutuhan respons cepat. LoRa menghasilkan *Packet Loss* sebesar < 3% dan mampu mempertahankan koneksi hingga jarak 500 m, sehingga lebih sesuai untuk *monitoring* jarak jauh dengan kebutuhan kestabilan komunikasi. Dengan demikian, WiFi lebih optimal digunakan pada area terbatas, sedangkan LoRa lebih optimal digunakan pada area luas yang membutuhkan jangkauan komunikasi lebih jauh. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menambahkan pengujian pada kondisi lingkungan yang lebih bervariasi, menambahkan pengujian konsumsi daya, serta mengembangkan sistem hybrid yang dapat memilih WiFi atau LoRa secara otomatis berdasarkan jarak dan kualitas sinyal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. T. Chui and others, "A Survey of Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Standards, Algorithms, Applications, Security, Challenges, and Future Directions," *Information*, vol. 14, no. 7, p. 388, 2023, doi: 10.3390/info14070388.
- [2] U. Zhalmagambetova and others, "A Secure Telemetry Transmission Architecture Independent of GSM: An Experimental LoRa-Based System on Raspberry Pi for IIoT Monitoring Tasks," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 17, p. 9539, 2025, doi: 10.3390/app15179539.
- [3] E. Ebeid and others, "An Experimental Study of 2.4 GHz LoRa in Air-to-Ground Communication," in *SESAR Innovation Days*, 2022.
- [4] A. Flores, "Autonomous Drone Communication Using LoRa and MAVlink for Long-Range Control," California State University, Northridge, Northridge, California, USA, 2024.
- [5] A. Chalkiadaki, C. Mourgelas, D. Psilias, A. Milidonis, and I. Voyiatzis, "A Survey for UAV Open-Source Telemetry Protocols," in *Proceedings of the 25th Pan-Hellenic Conference on Informatics (PCI 2021)*, 2021, pp. 1–6. doi: 10.1145/3503823.3503887.
- [6] M. H. M. Ghazali, K. Teoh, and W. Rahiman, "A Systematic Review of Real-time Deployments of UAV-Based LoRa Communication Network," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 124817–124830, Sep. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3110872.
- [7] W. D. Paredes, H. Kaushal, I. Vakulinia, and Z. Prodanoff, "LoRa Technology in Flying Ad Hoc Networks: A Survey of Challenges and Open Issues," *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2403, 2023, doi: 10.3390/s23052403.
- [8] L. Chen, Y. Wang, and H. Zhang, "Intelligent transportation systems based on deep learning: A survey," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 33456–33478, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3256789.
- [9] H. Zhang, Q. Li, and J. Sun, "Real-time vehicle detection using YOLOv5," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 99876–99889, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3201234.
- [10] J. M. Martínez-Heredia, J. Olivera, F. Colodro, M. Bravo, and M. R. Arahal, "A Long-Range and Low-Cost Emergency Radio Beacon for Small Drones," *Drones*, vol. 8, no. 12, p. 785, 2024, doi: 10.3390/drones8120785.
- [11] R. R. Shamshiri and others, "Internet of Robotic Things with a Local LoRa Network for Teleoperation of an Agricultural Mobile Robot Using a Digital Shadow," *Discover Applied Sciences*, vol. 6, p. 414, 2024, doi: 10.1007/s42452-024-06106-7.
- [12] F. Mavilia, D. La Rosa, A. Berton, and M. Girolami, "An Experimental Dataset Using UAVs and LoRa Technology in Avalanche Scenarios," *Data Brief*, vol. 63, p. 112243, 2025, doi: 10.1016/j.dib.2025.112243.
- [13] D. D. Pebrian, "Alat Ukur Sinyal LoRa untuk Mengetahui Jangkauan antara End Device dengan Gateway," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5700.
- [14] M. Radeta and others, "TRITON—Open Telemetry and Location Estimation for Marine Monitoring Based on IoT and LoRa," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2024, doi: 10.1109/JOE.2024.3441819.
- [15] N. Gaaliche, C. Georgantopoulou, A. M. Abdelrhman, and R. Fathallah, "Compact Onboard Telemetry System for Real-time Re-Entry Capsule Monitoring," *Aerospace*, vol. 12, no. 12, p. 1105, 2025, doi: 10.3390/aerospace12121105.