

Analisis Kinerja Komunikasi Data Berbasis LoRa pada IoT untuk Pemantauan Lingkungan Kandang Ayam

Performance Analysis of LoRa-Based Data Communication on IoT for Monitoring Chicken Coop Environmental

SRI WAHJUNI^{1*}, AURIZA RAHMAD AKBAR¹, MAXDHA MAXIWINATA¹,
HENDRA RAHMAWAN¹

Abstrak

Teknologi IoT dapat mempermudah peternak dalam memantau kandang ayam dari jauh. Teknologi LoRa pada IoT cocok untuk diimplementasikan pada lingkungan kandang yang umumnya berada jauh dari pemukiman penduduk, karena memiliki jarak jangkauan yang jauh dan hemat dalam penggunaan daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan menguji kinerja IoT menggunakan LoRa dengan modul RFM95W pada lingkungan kandang ayam. Kinerja yang diamati berupa jarak, kekuatan sinyal, dan keberhasilan transmisi data. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian fungsional dan pengujian kinerja dengan antenna 3 dBi dan 5 dBi pada SF7. Pengujian fungsional terhadap sistem menunjukkan bahwa sistem telah berhasil mengirimkan data ke Thingspeak. Hasil pengujian menggunakan antenna 5 dBi mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan antenna 3 dBi. Dengan antenna 5dBi, untuk skenario tanpa halangan, jarak terjauh adalah 400 m dengan *error rate* 15% dan untuk skenario dengan halangan jarak terjauh adalah 80 m dengan *error rate* 5%.

Kata Kunci: LoRa, pemantauan lingkungan kandang, RFM95W, *spreading factor*.

Abstract

IoT technology can make it easier for farmers to monitor the chicken coop from afar. LoRa technology is suitable for IoT implementation in cage environments that are generally far from residential areas, because it has a long range and is economical in power usage. This study aims to implement and test the performance of IoT using LoRa with the RFM95W module in a chicken coop environment. Performance observed in the form of distance, signal strength, and success of data transmission. The tests carried out are functional testing and performance testing using 3 dBi and 5 dBi antennas on SF7. The results of functional testing successfully send data to Thingspeak. Experiments results using the 5 dBi antenna obtained better results than the 3 dBi one. Using 5 dBi antenna, for the scenario without obstacles, the furthest distance is 400 m with an error rate of 15% and for the scenario with obstacles the furthest distance is 80 m with an error rate of 5%.

Keywords: coop environment monitoring, LoRa, RFM95W, spreading factor.

PENDAHULUAN

Salah satu sektor agribisnis yang sangat menjanjikan di Indonesia adalah peternakan. Salah satu jenis peternakan yang banyak dilakukan di Indonesia adalah peternakan ayam broiler. Peternakan ayam adalah salah satu bidang yang banyak ikut andil dalam memenuhi kebutuhan protein di Indonesia. Ayam broiler adalah salah satu jenis ayam potong yang banyak dibudidayakan di Indonesia, karena pertumbuhannya yang cepat serta umumnya ayam broiler sudah dapat dipotong pada usia 28-45 hari (Sebayang *et al.* 2016).

Ayam broiler termasuk dalam kelompok hewan endotermik yang memiliki suhu tubuh yang tetap walaupun lingkungan berubah. Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pemeliharaan broiler, karena jika tidak diperhatikan dengan baik bisa menimbulkan

¹ Departemen Ilmu Komputer, FMIPA IPB;

* Penulis Korespondensi: my_juni04@apps.ipb.ac.id

stres panas atau yang biasa dikenal dengan *heat stress* (Putra *et al.* 2018). Menurut Sari dan Ayu (2020), stres pada ayam dapat dipicu oleh suhu yang tinggi, dan dari stres tersebut dapat mengakibatkan kematian pada ayam. Sedangkan suhu yang terlalu rendah dapat membuat ayam dewasa menghasilkan telur yang lebih kecil. Oleh karena itu suhu di dalam kandang harus dijaga antara 28-30°C dengan kelembapan 55-60%. Selain itu, kadar amonia kandang ayam idealnya adalah kurang dari 10 ppm, jika lebih dari batas tersebut akan membahayakan sistem pernafasan ayam (Faizah *et al.* 2023). Penelitian Wulandari *et al.* (2021) telah membangun sebuah sistem IoT untuk memantau lingkungan kandang dengan menggunakan komunikasi data WiFi. Komunikasi data ini tidak efisien untuk pengiriman data yang kecil yang dihasilkan oleh sensor, serta memiliki jangkauan terbatas.

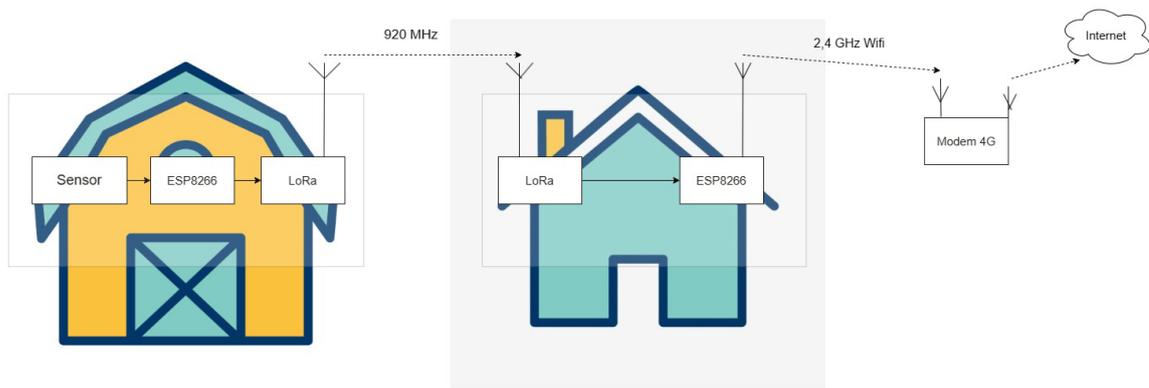
Berdasarkan Peraturan No. 40/Permentan/OT.140/7/2011, kandang ayam harus terpisah dari lingkungan pemukiman dan berjarak minimal 500 meter dari pagar terluar. Hal ini akan menyulitkan peternak untuk memantau kandang ayam karena jaraknya yang jauh. Ketika pemantauan kondisi kandang harus dilakukan secara manual, setidaknya perlu ada pegawai yang berjaga di kandang.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka diperlukan sebuah sistem untuk memonitor parameter lingkungan kandang. Jarak yang harus dicapai oleh peternak dan juga permasalahan internet yang belum tentu ada pada wilayah kandang, serta masalah ketersediaan sumber daya listrik menjadi masalah utama. Salah satu solusi yang bisa digunakan untuk peternak adalah komunikasi data *long range* (LoRa). Walaupun hanya bisa mengirim data berukuran kecil, tetapi LoRa dapat mencapai jarak 48 km pada area rural (Semtech 2023). Terdapat banyak variasi modul yang dapat digunakan untuk LoRa, salah satunya adalah RFM95W untuk frekuensi 915 MHz. Beberapa penelitian terkait LoRa telah dilakukan dengan melakukan percobaan terhadap variasi nilai gain antenna maupun nilai *spreading factor* (SF). SF adalah representasi jumlah bit dengan beberapa *chip* informasi untuk mewakili sebuah simbol yang ditransmisikan. Nilai SF bisa diatur dari 7–12, nilai SF 7 berarti setiap simbol dikodekan dalam 2^7 *chip*. Semakin besar nilai SF maka nilai *data rate* semakin kecil. Meningkatkan SF akan meningkatkan jarak terjauh yang dapat dicapai LoRa tetapi meningkatkan konsumsi daya yang diperlukan (HopeRF 2018). Penelitian Nurhadi *et al.* (2021) menggunakan gain antenna 5dBi, sedangkan penelitian Fitri *et al.* (2021) menggunakan gain antenna 8 dBi dengan SF7. Penelitian Arifin *et al.* (2019) melakukan pengujian nilai prosentase data diterima pada beberapa nilai SF. Selain nilai gain antenna dan SF, ketinggian antenna juga mempengaruhi maksimal jarak yang dapat dijangkau. Pada penelitian Irianto (2022) variasi nilai ketinggian antenna dicobakan dengan menggunakan gain antenna 3dBi dan SF7. Jarak terjauh transmisi LoRa yaitu 766 km dengan menggunakan balon helium seperti dilaporkan oleh LoRa Alliance (2019) dan Manzoni *et al.* (2023).

Penelitian ini menggunakan modul RFM95W karena menurut Perdirjen SPPDI Kominfo No. 3/2019, frekuensi yang diizinkan untuk LoRa di Indonesia adalah 920-923 MHz. Modul RFM95W memiliki variasi SF yang lebih banyak, yaitu antara 7–12 (HopeRF 2018). Dalam penelitian ini analisis kinerja LoRa dilakukan pada dua nilai gain antenna yang berbeda, dengan pengujian pada beberapa posisi yang berbeda untuk mengakomodasi kondisi lingkungan IPB yang memiliki perbedaan kontur. Selain itu juga akan dilakukan pengujian menggunakan nilai SF yang berbeda untuk melihat dampaknya terhadap kualitas komunikasi data.

METODE

Rancangan sistem pemantauan yang dibangun dalam penelitian ini mengikuti skema seperti pada Gambar 1. Pada penelitian ini akan dibuat dua modul berbasis ESP8266 dengan komunikasi data menggunakan LoRa (modul RFM95W). Modul pertama (*sender*) dilengkapi dengan sensor-sensor suhu dan kelembapan udara yang berfungsi sebagai pemantau lingkungan kandang, dan modul kedua (*receiver*) berfungsi sebagai *gateway* yang berfungsi menerima data dari *sender* dan mengirimkannya ke server di *cloud*. Lebih detail, kebutuhan alat dan bahan serta langkah penelitian dijelaskan dalam bagian selanjutnya.



Gambar 1 Desain sistem pemantauan kandang dengan komunikasi LoRa

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini sensor yang digunakan dalam mengukur suhu dan kelembapan adalah sensor SHT30. Salah satu anggota dari keluarga Sensirion, SHT30 seringkali digunakan dalam mengukur kelembapan dan suhu. SHT30 juga merupakan sensor suhu dan kelembapan yang memiliki banyak modul sensor tetapi berbentuk *single chip* yang keluarannya telah dikalibrasi secara digital (Dona *et al.* 2018). Sensor ini dapat membaca nilai kelembapan dengan jangkauan 0-100% dengan akurasi 2%, serta suhu $-45 - 125^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi 0.2°C (Sensirion 2021). Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler ESP8266.

Komunikasi data dalam penelitian ini menggunakan LoRa dengan modul RFM95W yang dapat dilihat pada Gambar 2(a). Selain itu, untuk analisis pengaruh kekuatan antenna, pada penelitian ini diperlukan dua antenna yang berjalan pada frekuensi 915 MHz tetapi memiliki kekuatan yang berbeda, yaitu antenna dengan 3 dBi (Gambar 2(b)) dan 5 dBi (Gambar 2(c)).

Kelebihan LoRa adalah jarak jauh karena bisa mencapai jarak 48 km pada area rural, dan penggunaan daya yang rendah, selain itu juga aman karena dapat menggunakan enkripsi AES128 (Semtech 2023). LoRa merupakan salah satu teknologi berdaya rendah, nirkabel, serta menggunakan spektrum radio yang berbeda tergantung dari regulasi tiap negara, mulai dari frekuensi 433, 868, atau 915 MHz (Wisduanto *et al.* 2019). Menurut Perdirjen SPPDI Kominfo No. 3/2019, frekuensi yang diizinkan untuk LoRa di Indonesia adalah 920-923 MHz. Cara agar frekuensi LoRa yang sebelumnya 915 MHz bisa sesuai dengan ketentuan yang diizinkan oleh Kominfo adalah merubah frekuensinya saat inisialisasi LoRa menjadi 920 MHz.

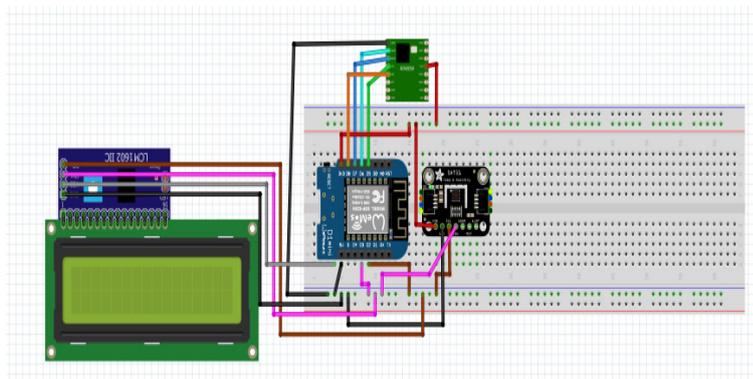
RFM95 adalah modul komunikasi LoRa yang beroperasi pada frekuensi 915 MHz dengan penggunaan daya yang rendah serta penerimaan data komunikasi jarak jauh. Modul ini memiliki sensitivitas yang tinggi sekitar -148 dBm , bandwidth sekitar 125-500 kHz, serta memiliki *effective bitrate* hingga 37.5 kbps (HopeRF 2018). Pin yang tersedia pada RFM95W adalah GND, 3.3V, MOSI, MISO, SCK, NSS, DIO0, DIO1, DIO2, DIO3. RFM95W pada *receiver* hanya mengambil daya 12.1 mA sementara pada *sender* menggunakan 20 mA (HopeRF 2018)



Gambar 2 Modul komunikasi yang digunakan: (a) LoRa RFM95W, (b) antenna 3 dBi, dan (c) 5 dBi

Perancangan Piranti Keras dan Piranti Lunak

Rancangan modul *sender* dibuat dengan menggunakan aplikasi Fritzing, seperti terlihat pada Gambar 3. Rancangan modul *receiver* sama dengan *sender*, tapi tanpa sensor. Koneksi tiap pin pada rangkaian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Pin *ground* pada RFM95W disambungkan dengan pin *ground* juga pada mikrokontroler ESP8266, sementara pin 3.3V disambungkan dengan pin 3V3, lalu MISO disambungkan dengan D6, MOSI disambungkan dengan D7, SCK dihubungkan dengan D5 lalu diakhiri dengan NSS dihubungkan dengan D8. Pin GND berguna untuk pin negatif dari komponen, pin 3.3V untuk pin yang memberikan tegangan 3.3 V. MISO, MOSI, SCK, dan NSS berguna untuk komunikasi SPI pada RFM95W.



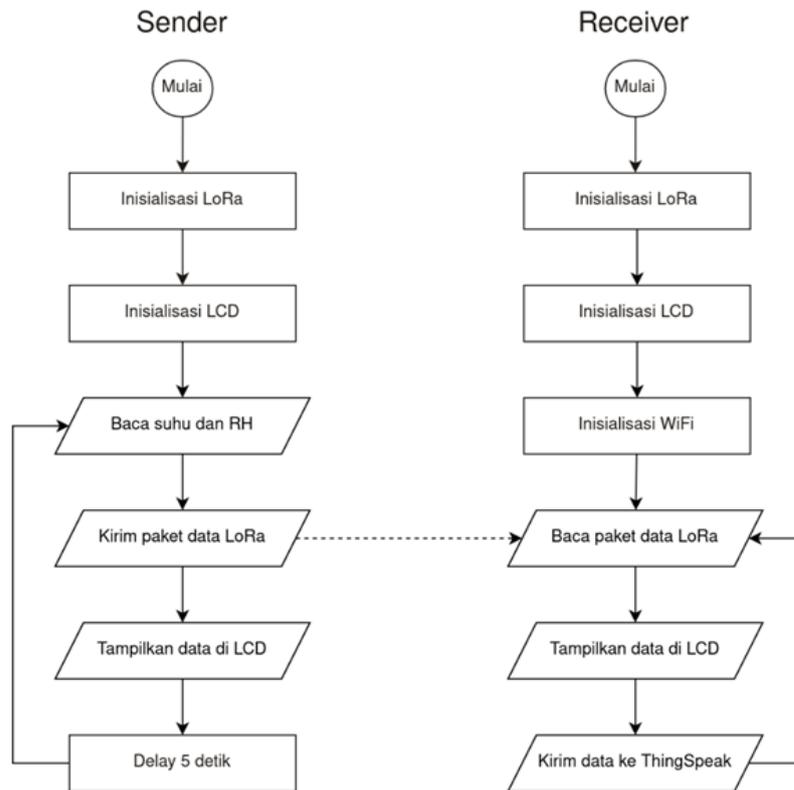
Gambar 3 Rancangan sender

Tabel 1 Koneksi pin yang digunakan

Pin ESP8266	Pin LCD	Pin SHT30	Pin RFM95W
GND	GND	GND	GND
D2	SDA	SDA	
D1	SCL	SCL	
5V	VCC		
3V3		VCC	3.3V
D6		GND	MISO
D7		SDA	MOSI
D5		SCL	SCK
D8			NSS

Untuk mengoperasikan kedua modul *sender* dan *receiver* perlu dibuat piranti lunak yang dipasang pada kedua mikrokontroler ESP8266. Rancangan piranti lunak yang dibangun mengikuti algoritma seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram alir ini dimulai dengan inisialisasi LoRa dan LCD pada *sender*. Sensor SHT30 membaca suhu dan kelembapan dalam bentuk nilai dengan tipe data primitif *floating point* yang hasilnya dikemas dalam paket data LoRa dan dikirim ke *receiver*. Format data yang dikirim adalah: **<nomor urut (string)>, <”, “>, <nilai temperatur (string)>, <”, “>, <nilai kelembapan (string)>**. Berdasarkan format tersebut, maka estimasi ukuran data atau *payload* yang dikirimkan adalah $2 \times 1 \text{ Byte} + 3 \times 1 \text{ Byte} + 3 \times 1 \text{ Byte} + 2 \times 2 \text{ Byte} = 12 \text{ Byte}$. Selain dikirimkan ke *receiver*, data sensor juga ditampilkan pada LCD. Proses pembacaan suhu dan kelembapan ini terus diulang setelah jeda waktu lima detik.

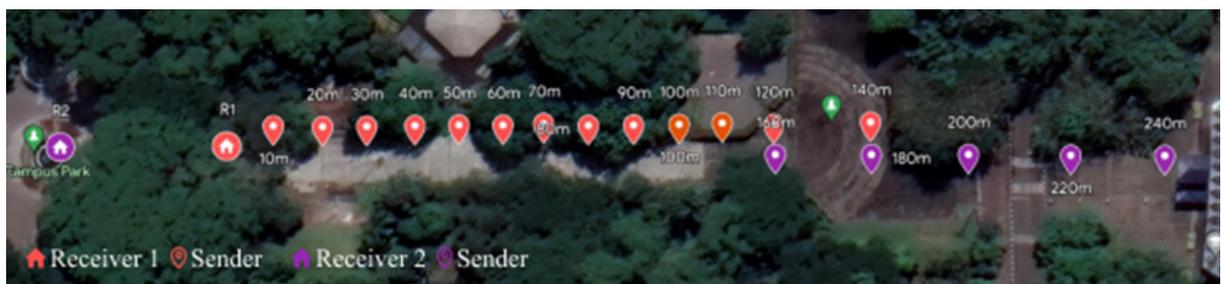
Pada *receiver*, proses diawali dengan inisialisasi LoRa, LCD, dan WiFi. Inisialisasi WiFi perlu dilakukan untuk memastikan bahwa koneksi Internet telah tersedia. Selanjutnya, paket data yang diterima dari *sender* dibaca oleh *receiver* dan ditampilkan di LCD. Paket data yang diterima dari *sender* juga dikirimkan oleh *receiver* ke server di *cloud*. Dalam penelitian ini digunakan layanan *cloud* dari Thingspeak sebagai server penerima dan penyimpan datanya. Pada bagian *receiver* tidak ada jeda sehingga jika ada paket yang masuk ke *receiver* langsung dapat dibaca.



Gambar 4 Diagram alur IoT pemantauan suhu dan kelembaban

Skenario Pengujian

Pengujian kinerja dilaksanakan dengan mencoba dua skenario, yaitu skenario tanpa halangan di depan Koin IPB dan skenario dengan halangan yaitu di lingkungan kandang Fakultas Peternakan IPB. Pengambilan data dilakukan pada pukul 08.00-12.00 dan pukul 10.00-13.00. Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua jenis antena yaitu antena dengan kekuatan 3 dBi dan 5 dBi. Seluruh pengujian dilakukan menggunakan *spreading factor* SF7 sebagai *default* dari modul RFM95W.



(a)



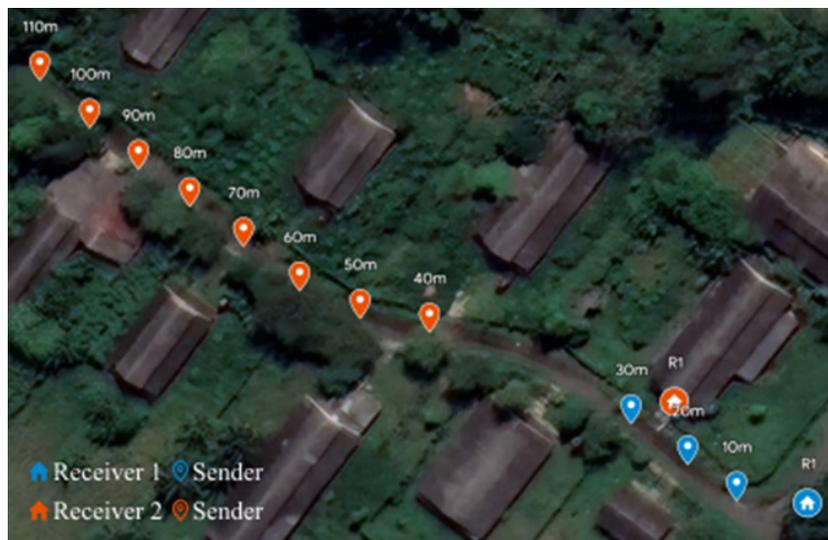
(b)

Gambar 5 Peta sender dan receiver pada skenario tanpa halangan (a) antena 3dBi dan (b) antena 5dBi

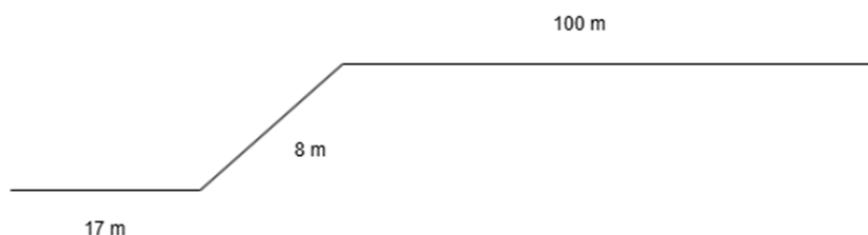
Lokasi peta posisi *sender* dan *receiver* pada percobaan tanpa halangan dapat dilihat pada Gambar 5. *Icon* rumah merupakan *receiver* dan tiap pin menunjukkan *sender*. Pada Gambar 5(a) ditunjukkan peta untuk percobaan dengan antena 3 dBi, dengan percobaan menggunakan SF7 dinyatakan dengan *icon* berwarna oranye dan untuk percobaan dengan SF10 dengan *icon* berwarna ungu. Peta percobaan dengan menggunakan antena 5 dBi ditunjukkan pada Gambar 5(b). Sedangkan pada Gambar 6 dapat dilihat kontur dari lokasi pengambilan data untuk skenario tanpa halangan. Adapun peta lokasi *sender* dan *receiver* pada percobaan dengan halangan dapat dilihat pada Gambar 7, dengan *icon* berwarna oranye adalah posisi pada percobaan dengan antena 3 dBi dan kontur medan percobaannya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6 Kontur medan percobaan tanpa halangan



Gambar 7 Peta sender dan receiver pada skenario dengan halangan



Gambar 8 Kontur medan percobaan dengan halangan

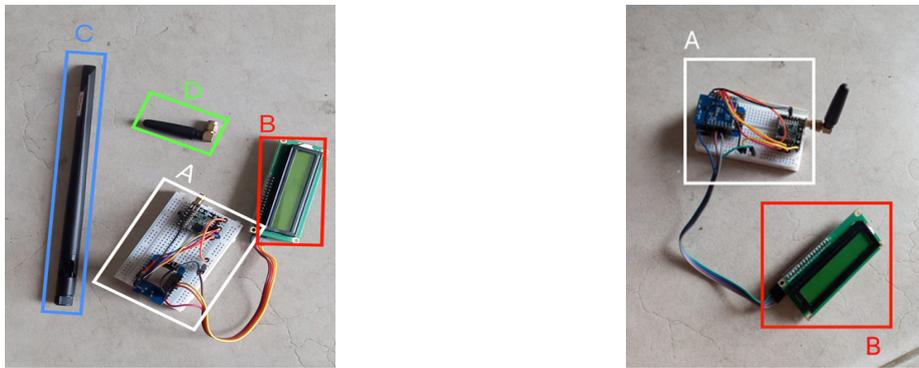
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan prototipe modul hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9(a) menunjukkan modul *receiver* (kotak A), keluaran LCD (kotak B), antena 3 dBi (kotak C), dan antena 5 dBi (kotak D). Sementara pada Gambar 9(b) menunjukkan modul *sender* dengan sensor SHT30 (kotak A) dan keluaran LCD (kotak B). *Library* yang digunakan pada penelitian ini adalah LoRa, Liquid Crystal, WiFi, serta SHT85.

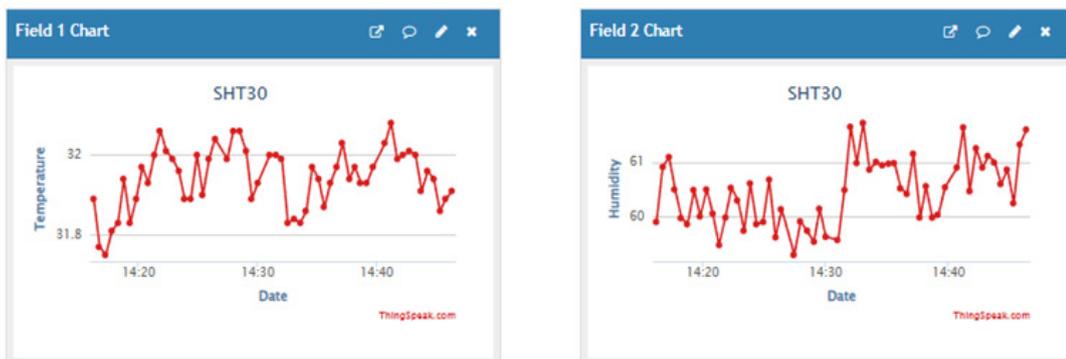
Untuk memastikan bahwa seluruh rangkaian bekerja dengan baik, terlebih dahulu dilakukan percobaan pengiriman data ke Thingspeak. Percobaan ini dilakukan dalam waktu satu jam dengan jeda pengiriman setiap 30 detik. Hasil yang ditampilkan pada Thingspeak adalah suhu dan kelembapan udara. Tampilan Thingspeak dapat dilihat pada Gambar 10.

Analisis Kinerja Pada Gain Antena 3dBi

Pada Gambar 11(a) terlihat grafik *error rate* dari kedua skenario, yaitu tanpa halangan dan dengan halangan. Pada kondisi ideal (relatif tanpa halangan), percobaan dihentikan pada jarak 80 m, karena pada jarak tersebut nilai *error rate* sudah mencapai 100%. Sampai dengan jarak 70 m, percobaan pada skenario tanpa halangan menghasilkan rata-rata *error rate* sebesar 24.6%. Sedangkan pada kondisi dengan halangan, *error rate* meningkat seiring dengan meningkatnya jarak antara *sender* dan *receiver*. Pada jarak 60 m, *error rate* yang dihasilkan mencapai 100%.

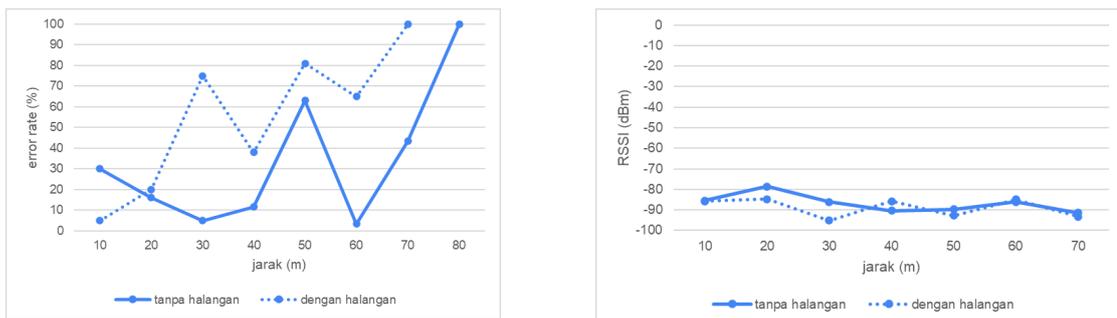


(a) (b)
Gambar 9 Implementasi rangkaian receiver (a) dan sender (b)



Gambar 10 Hasil pengujian fungsional pengiriman data ke Thingspeak

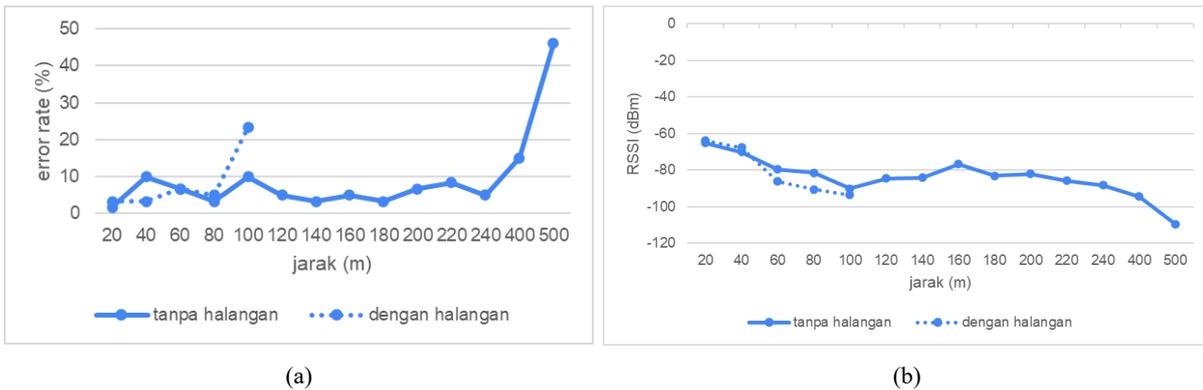
Hasil pengukuran nilai RSSI yang ditampilkan pada Gambar 11(b), baik pada skenario tanpa halangan maupun dengan halangan menghasilkan nilai di bawah -90 dBm pada jarak lebih dari 70 m. Nilai RSSI kurang dari -90 dBm menunjukkan bahwa kualitas komunikasi data sudah tidak layak untuk digunakan. Sampai dengan jarak 70 m, nilai RSSI pada skenario tanpa halangan berada pada rentang -85.45 hingga -91.47 dBm dan pada skenario dengan halangan berada pada rentang -85.7 hingga -93.33 dBm. Namun demikian, kondisi sinyal pada skenario tanpa halangan lebih stabil jika dilihat dari standar deviasinya sebesar 4.4, lebih kecil dari pada skenario dengan halangan, sebesar 4.6.



(a) (b)
Gambar 11 Kinerja antena 3dBi ditinjau dari (a) error rate dan (b) RSSI

Analisis Kinerja Pada Gain Antena 5dBi

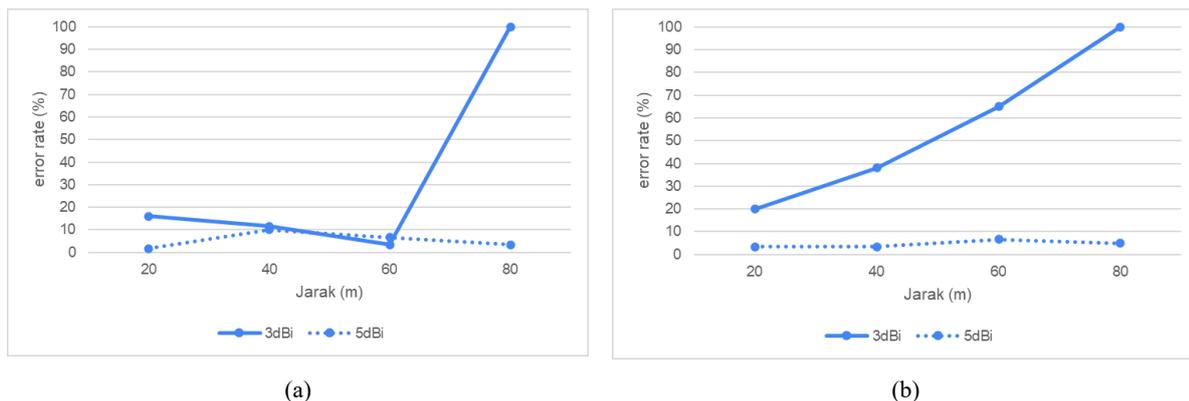
Pada percobaan ini digunakan *spreading factor* SF7 sebagai *default* dari modul RFM95W. Pada percobaan dengan menggunakan antena 5 dBi, skenario tanpa halangan menghasilkan jangkauan sampai dengan 500 m, dengan nilai *error rate* 46%. Pada jarak 400 m, nilai *error rate* yang dihasilkan sebesar 15%, masih lebih rendah dibandingkan dengan skenario dengan halangan pada jarak 100 m yang menghasilkan *error rate* di atas 23% (Gambar 12 (a)). Hasil ini konsisten dengan pengukuran nilai RSSI seperti ditunjukkan pada Gambar 12(b), yaitu pada jarak 100 m skenario dengan halangan menghasilkan nilai RSSI di bawah -90 dBm, yang menunjukkan kualitas tidak layak. Sedangkan pada skenario tanpa halangan, pada jarak 400 m, nilai RSSI yang diperoleh di bawah -94 dBm.



Gambar 12 Kinerja antena 5dBi ditinjau dari (a) error rate dan (b) RSSI

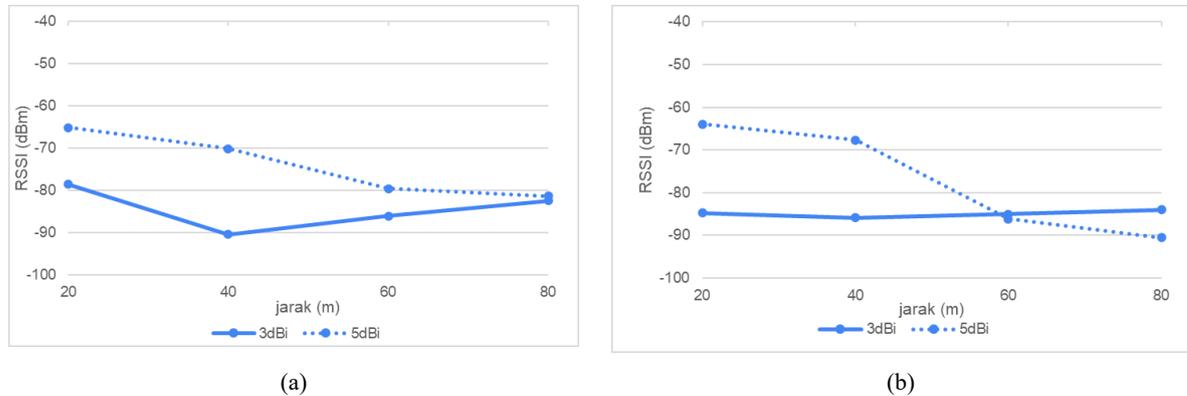
Evaluasi Kinerja Pada Kedua Gain Antena

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 ditampilkan grafik perbandingan kinerja dari kedua *gain* antena yang digunakan, pada jarak yang dapat dijangkau oleh kedua kekuatan antena. Pada Gambar 13 ditampilkan perbandingan *error rate* pada kondisi tanpa halangan dan dengan halangan. Pada kondisi tanpa halangan (Gambar 13(a)), *error rate* dari percobaan dengan antena 3 dBi cenderung tidak stabil, dan naik secara signifikan pada jarak *sender-receiver* di atas 60 m. Pada skenario dengan halangan (Gambar 13(b)), percobaan dengan antena 3 dBi menghasilkan *error rate* yang konsisten meningkat linier seiring dengan bertambahnya jarak antara *sender-receiver*. Rataan *error rate* pada skenario tanpa halangan untuk antena 3dBi adalah 32.75% dan untuk antena 5 dBi adalah 5.42%. Sedangkan pada skenario dengan halangan, rata-rata *error rate* pengiriman data menggunakan antena 3 dBi naik lebih dari 10%, yaitu menjadi 55.75%. Pada skenario yang sama, kenaikan *error rate* pengiriman data menggunakan antena 5 dBi menghasilkan *error rate* sebesar 4.58%. Nilai *error rate* yang lebih rendah pada percobaan dengan antena 5 dBi pada skenario dengan halangan dibandingkan tanpa halangan, kemungkinan terjadi karena kurang tepat dalam pengukurannya. Namun secara keseluruhan, penggunaan antena dengan kekuatan lebih besar menghasilkan komunikasi data dengan kualitas yang lebih baik.



Gambar 13 Perbandingan hasil error rate pada skenario (a) tanpa halangan dan (b) dengan halangan

Hasil pengukuran nilai RSSI pada percobaan menggunakan antenna 5 dBi pada skenario tanpa halangan (Gambar 14 (a)) menunjukkan nilai RSSI yang lebih baik (lebih tinggi) dibandingkan dengan percobaan dengan antenna 3 dBi. Pada skenario ini, rata-rata nilai RSSI pada percobaan menggunakan antenna 5 dBi sebesar -74.06 dBm dan menggunakan antenna 3 dBi sebesar -84.40 dBm. Dengan perbedaan RSSI dan hasil *error rate* yang cukup besar, membuktikan bahwa dengan menggunakan antenna yang memiliki *gain* lebih tinggi akan menghasilkan *error rate* yang lebih kecil dan RSSI yang lebih tinggi.



Gambar 14 Perbandingan hasil RSSI pada skenario (a) tanpa halangan dan (b) dengan halangan

SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membangun sistem IoT pemantauan kandang dan mengirimkan datanya ke Thingspeak. Pada percobaan komunikasi data menggunakan LoRa, pada kondisi relatif tanpa halangan, penggunaan antenna dengan kekuatan 5 dBi dapat menjaga kestabilan kualitas pengiriman data antara *sender* dan *receiver* sampai dengan jarak 400 m dengan *error rate* tertinggi 15%. Pada kondisi lingkungan dengan perbedaan kontur yang signifikan, jarak terjauh yang dapat dijangkau adalah 80 m dengan *error rate* 5%. Pada jarak 100 m, *error rate* yang dihasilkan meningkat menjadi 23%. Penelitian ini masih dapat diperdalam dengan menguji penggunaan nilai *spreading factor* yang berbeda pada kedua antenna, untuk mendapatkan nilai yang optimal. Selain itu, dapat juga dipertimbangkan penambahan parameter ketinggian antenna yang digunakan, sesuai dengan kondisi lingkungan di IPB yang berkontur naik turun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian yang diberikan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Indonesia melalui Direktorat Riset dan Inovasi, IPB University dengan skema Penelitian Fundamental - Reguler (PFR) No. 027/E5/PG.02.00.PL/2024 dan 22086/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin A, Rizal M, Angriawan R. 2019. Pengaruh spreading factor (SF) terhadap jarak dan persentase data terkirim LoRa dalam hutan. Di dalam: *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknik Informatika*. Hlm. 1103-1108.
- Dona M, Louk A, Tanesib J. 2018. Otomatisasi sistem buka-tutup atap rumah teleskop dan pengontrol kelembaban udara menggunakan Raspberry PI 3. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasi*. 3(2):163-169.
- Faizah AU, Raharjo M, Setiani O. 2023. Analisis Konsentrasi Gas Amonia (NH₃) pada Berbagai Tipe Kandang Ayam Broiler dan Hubungannya terhadap Gangguan Pernapasan. *Journal of Noncommunicable Diseases* 3 (2), 134-146.
- Fitri D, Marpaung J, Pontia FT. 2021. Perancangan Antena Helical pada Radio Transceiver SX1276 pada frekuensi 915 Mhz. *Jurnal Teknik Electro UNTAN*. 1(1)

- HopeRF. 2018. HopeRF RFM95W V2.0. [diakses 2022 Des 13]. Tersedia pada: <https://www.hoperf.com/data/upload/portal/20190801/RFM95W-V2.0.pdf>
- Irianto KD. 2022. *Evaluasi dan analisis kerja LoRa pada sistem irigasi pertanian berbasis IoT*. doi: 10.31219/osf.io/kba9h
- LoRa Alliance. 2019. *LoRaWAN® distance world record broken, twice. 766 km (476 miles) using 25mW transmission power* [diakses 2024 Desember 21]. Tersedia pada: <https://lora-alliance.org/lorawan-news/lorawanr-distance-world-record-broken-twice-766-km-476-miles-using-25mw-transmission/>.
- Manzoni P, Merzougui SE, Palazzi CE, Pozzan P. 2023. A resilient LoRa-based solution to support pervasive sensing. *Electronics*. 12(13):2952. MDPI.
- Nurhadi AA, Darlis D, Murti MA. 2021. Implementasi modul komunikasi LoRa RFM95W pada sistem pemantauan listrik 3 fasa berbasis IoT. *ULTIMA Computing*. 13(1):17–21.
- Putra CGN, Maulana R, Fitriyah H. 2018. Otomasi kandang dalam rangka meminimalisir heat stress pada ayam broiler dengan metode naive Bayes. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 2(1):387-394
- Sari W, Ayu I. 2020. *Sistem monitoring suhu dan kelembaban kandang bibit ayam ras petelur (Gallus gallus) menggunakan Telegram*. Jember: Politeknik Negeri Jember.
- Sebayang RK, Zebua O, Soedjarwanto N. 2016. Perancangan sistem pengaturan suhu kandang ayam berbasis mikrokontroler. *JITET*. 4(3)
- Semtech. 2023. What is LoRa [diakses 2023 Jul 26]. Tersedia pada: <https://www.semtech.com/lora>.
- Sensirion. 2021. SHT30-DIS-F. [diakses 2023 Jun 23]. Tersedia pada: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT30-DIS-F>.
- Wisduanto RG, Bhawiyuga A, Kartikasari DP. 2019. Implementasi sistem akuisisi data sensor pertanian menggunakan protokol komunikasi LoRa. *Jurnal Pengembangan Informasi dan Ilmu Komputer*. 3(3):2201-2207.
- Wulandari, Wahjuni S, Nouval WM. 2021. Development of automatic weather station monitoring system for broiler chicken coop. Di dalam: *The 3rd IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC-2021)*. hlm. 1-6.