

Evaluasi dan Analisis Kinerja LoRa Pada Sistem Irigasi Pertanian Berbasis IoT

Kurniawan D. Irianto
Jurusan Informatika, Universitas Islam Indonesia
E-mail: k.d.irianto@uii.ac.id

Abstrak

Komunikasi Long Range (LoRa) merupakan salah satu teknologi *Internet of Things* (IoT) yang sedang naik daun dan banyak didiskusikan oleh para peneliti. LoRa juga adalah bagian dari teknologi *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN) di mana teknologi ini memfokuskan sistem komunikasi pada efisiensi energi, luas jangkauan, kecepatan data rendah, dan masa pemakaian baterai yang lama. LoRa beroperasi dengan menggunakan frekuensi radio *industrial, scientific, and medical* (ISM). Frekuensi tersebut dapat digunakan secara gratis tanpa harus membayar lisensi. Secara teoritis dan pada kondisi ideal, jangkauan LoRa bisa mencapai < 3 km di daerah perkotaan dan > 3 km di daerah pedesaan. Namun, masih sedikit penelitian yang membahas tentang evaluasi and analisis kinerja LoRa yang diimplementasikan di dunia nyata dengan studi kasus tertentu. Artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja LoRa yang diterapkan pada studi kasus sistem irigasi pertanian berbasis IoT. Terdapat beberapa parameter yang akan dievaluasi dan dianalisis, diantaranya adalah *distance*, *received signal strength indication* (RSSI), *spreading factor*, *coding rate*, *power transmission*, dan *packet delivery ratio* (PDR). Hasil percobaan dan pengukuran menunjukkan bahwa LoRa dapat mengirimkan paket data hingga jarak 2,5 km namun dengan tingkat PDR yang sangat rendah yaitu sekitar 5-7%. Hasil juga menunjukkan bahwa LoRa dapat bekerja secara optimal jika jarak > 1 km dengan tingkat PDR sekitar 70-100%.

Kata kunci: evaluasi, analisi kinerja, komunikasi LoRa, internet of things, sistem irigasi pertanian

1. PENDAHULUAN

Komunikasi *Long Range* (LoRa) merupakan salah satu jenis komunikasi dari teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN). Teknologi LPWAN bertujuan untuk mengoptimalkan jangkauan komunikasi sejauh mungkin dengan mengorbankan kecepatan transfer data. Disamping itu, LPWAN juga fokus pada penghematan energi sehingga alat-alat yang digunakan pada LPWAN yang biasanya menggunakan sumber energi baterai dapat bertahan hingga bertahun-tahun. Lebih lagi, LPWAN biasanya digunakan bersamaan dengan jaringan yang terdiri dari sensor-sensor. Oleh karena itu, teknologi-teknologi yang ada pada LPWAN memiliki beberapa kriteria khusus, yaitu *low power consumption*, *low data transfer*, *long battery life*, *low cost* and *long range*.

LoRa termasuk bagian dari LPWAN. Popularitas penggunaan LoRa pada bidang *internet of things* (IoT) sedang naik dan hal ini menjadi banyak bahan diskusi diantara para peneliti di bidang IoT. Salah satu keunggulan LoRa adalah jangkauan komunikasi yang cukup jauh dibandingkan dengan model komunikasi yang lain, khususnya di bidang IoT. Selain itu, terdapat kelebihan-kelebihan lain dari LoRa, yaitu 1) mendukung frekuensi *industrial, scientific, and medical* (ISM) yang mana frekuensi ini dapat digunakan secara bebas diberbagai negara tanpa harus membayar lisensi, 2) mengkonsumsi daya listrik rendah sehingga penggunaan baterai dapat

bertahan lebih lama, 3) sebuah LoRa *gateway* dapat terkoneksi ke ribuan *end devices*, 4) mudah dalam penggunaan dan penerapan pada kasus-kasus nyata, dan 5) lebih tahan terhadap interferensi sinyal.

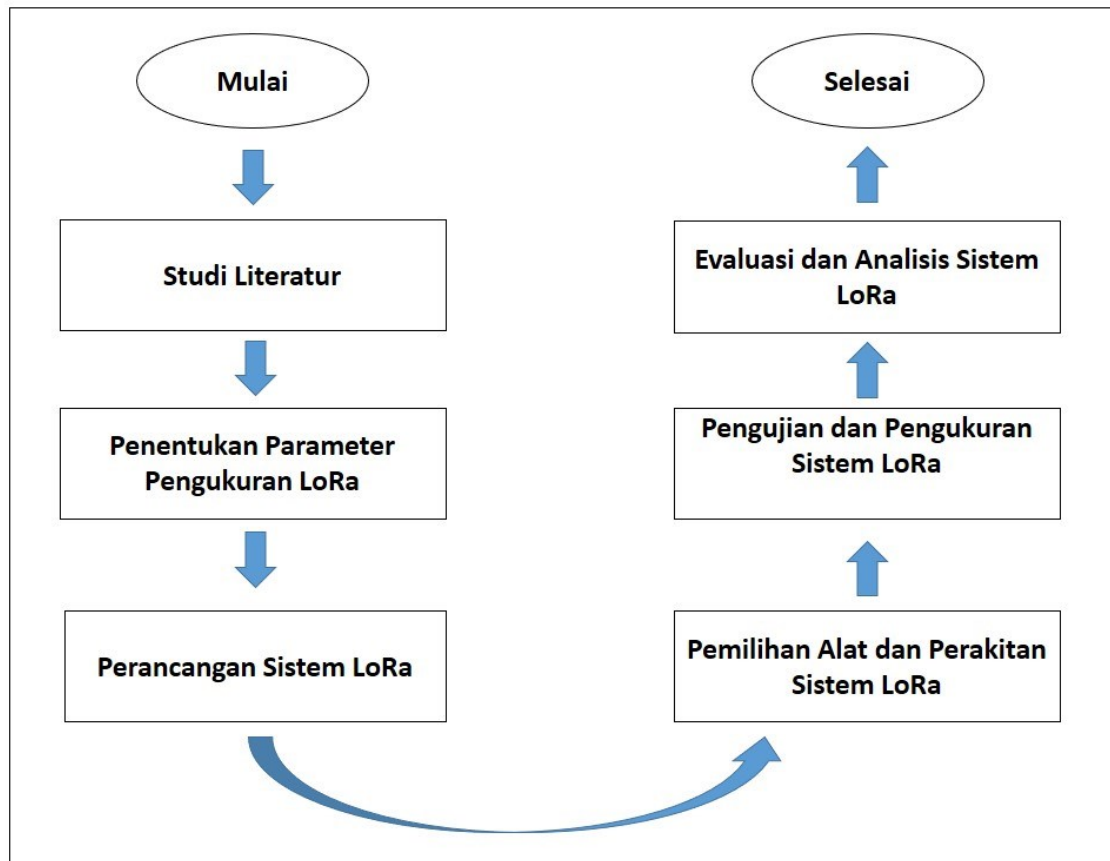
Penerapan LoRa pada bidang IoT telah banyak dilakukan di berbagai bidang, salah satunya adalah bidang pertanian. Saat ini, banyak pertanian-pertanian modern yang memanfaatkan teknologi IoT untuk mempermudah dan meningkatkan hasil pertanian. Perpaduan antara pertanian dan IoT menghasilkan sebuah pendekatan baru yang disebut dengan *smart farming*. *Smart farming* memungkinkan untuk meningkatkan produktifitas dan mengurangi kerugian pertanian. Diantara pemanfaatan IoT pada *smart farming* adalah mesin pertanian yang dapat dioperasikan secara otomatis, peningkatan efisiensi dalam manajemen sumber daya pertanian, monitoring hasil pertanian dengan menggunakan sensor-sensor, dan mengotomasi sistem irigasi pertanian.

Penelitian-penelitian IoT pada sistem irigasi sudah cukup banyak dilakukan. Beberapa diantaranya menggunakan *wireless sensor networks* sebagai jaringan komunikasi [1], [2]. Ada juga penelitian sistem irigasi yang memanfaatkan koneksi internet dan cloud [3]–[5]. Bahkan ada penelitian sistem irigasi yang menggunakan *mechine learning* dan *cloud* [6]. Namun masih sedikit penelitian IoT yang menerapkan komunikasi LoRa dalam memonitoring sistem irigasi berbasis IoT. Salah satu contoh penelitian terbaru yang memanfaatkan LoRa pada sistem irigasi pertanian adalah penelitian yang dilakukan oleh Irianto yang berjudul “*Design of Smart Farm Irrigation Monitoring System Using IoT and LoRa*” [7]. Pada penelitian tersebut, Irianto membangun sebuah prototipe sistem monitoring irigasi pertanian cerdas dengan memanfaatkan LoRa sebagai model komunikasi nirkabelnya dan melakukan pengujian dan pengukuran nyata. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa komunikasi LoRa yang diterapkan pada sistem monitoring irigasi tersebut dapat berfungsi dengan baik dalam jarak jangkauan komunikasi kurang dari 1 km. Jika jarak lebih jauh dari itu, maka tidak disarankan karena *packet error rate* (PER) ternyata tinggi sehingga sistem tidak dapat berjalan dengan optimal. Namun, hal ini masih jauh dari beberapa literatur-literatur LoRa yang mengklaim bahwa LoRa dapat berkomunikasi sejauh > 3 km pada lingkungan pedesaan dan < 3 km pada lingkungan perkotaan. Oleh itu perlu sekiranya dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja LoRa dalam penerapannya di sistem irigasi pertanian.

Artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja LoRa dengan lebih komprehensif yang diterapkan pada kasus sistem irigasi pertanian berbasis IoT. Beberapa parameter yang akan digunakan dalam evaluasi dan analisis adalah 1) *distance*, 2) *received signal strength indicator* (RSSI), 3) *spreading factor* (SP), *coding rate* (CR), *transmission power*, dan *packet delivery ratio* (PDR). Dalam penelitian, ini akan dirancang beberapa skenario untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja LoRa. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memahami lebih dalam dan menyeluruh terhadap kinerja LoRa, dapat meningkatkan kinerja LoRa, dapat menerapkan LoRa pada kasus sistem irigasi pertanian nyata.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur tentang penerapan LoRa pada sistem pertanian. Kemudian dilanjutkan dengan tahap penentuan parameter LoRa yang akan digunakan dalam pengukuran. Tahap berikutnya adalah perancangan skenario dan dilanjutkan dengan tahap pemilihan alat dan perakitan sistem. Selanjutnya diteruskan dengan tahap pengujian dan pengukuran. Akhirnya diakhiri dengan tahap evaluasi dan analisis sistem. Untuk lebih jelasnya, tahap-tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alur dan tahap penelitian

2.1 Studi literatur

2.1.1 LPWAN

LPWAN adalah singkatan dari *Low Power Wide Area Networks*. LPWAN merupakan jaringan nirkabel yang menghubungkan antara alat komunikasi yang dioperasikan menggunakan baterai, mempunyai kecepatan transfer data rendah, mendukung komunikasi dengan cakupan daerah yang luas dan cukup jauh. LPWAN memberikan layanan yang terbaik karena membutuhkan biaya kecil jika dibandingkan dengan teknologi tradisional dari jaringan bergerak (*mobile networks*). Sejauh ini, LPWAN merupakan teknologi pada IoT yang paling banyak digunakan karena menawarkan cakupan komunikasi yang sangat luas [8].

Belum lama ini, teknologi *transceiver* baru telah muncul yang memungkinkan komunikasi hemat daya untuk jarak yang sangat jauh. Contoh teknologi LPWAN tersebut adalah LoRa, Sigfox dan Weightless. Jenis *transceiver* baru ini menargetkan aplikasi di mana ribuan perangkat digunakan di area geografis yang luas untuk mengumpulkan pembacaan sensor. Sebuah aplikasi khas adalah koleksi pembacaan meter di kota. Sistem ini digunakan dalam pengaturan di mana perangkat sederhana mengirim data dalam satu lompatan ke penerima yang kuat yang kemudian meneruskan data melalui infrastruktur kabel tetap ke titik pengumpulan data [9].

Beberapa peneliti berpendapat bahwa *transceiver* ini berpotensi sangat berguna untuk membangun jaringan IoT yang lebih umum yang menggabungkan komunikasi dua arah multihop yang memungkinkan penginderaan dan aktuasi. *Transceiver* memiliki kemampuan untuk berkomunikasi jarak jauh dengan anggaran energi yang kecil yang memungkinkan kami membangun infrastruktur IoT yang lebih efisien daripada yang mungkin dilakukan saat ini. Misalnya, *transceiver* ZigBee yang umum digunakan seperti Chipcon CC2420 mencakup

jangkauan komunikasi 20m menggunakan 84:5 J (pesan 40 byte) dalam lingkungan yang dibangun. *Transceiver* LoRa Semtech SX1272 dapat menempuh jarak 150m menggunakan 86:5 mJ di lingkungan yang sama [9].

2.1.3 Komunikasi LoRa (Long Range)

LoRa (*Long Range*) adalah sebuah teknik modulasi yang menggunakan *spread spectrum* yang dikembangkan oleh Semtech. Kemampuan LoRa dalam mengirimkan informasi sampai puluhan kilometer ini karena dukungan dari LoRaWAN dan LoRaWAN hanya bekerja pada topologi star dalam berkomunikasi. Alat-alat IoT (*nodes*) mengirim sinyal informasi ke sebuah alat *gateway* yang terhubung ke jaringan internet. Biasanya alat *gateway* memiliki spesifikasi alat yang tinggi yang mampu untuk menerima banyak transmisi secara bersamaan. Alat-alat *node* IoT dikelompokkan kedalam tiga kelas, yaitu: kelas A, kelas B, dan kelas C [9], [10].

LoRa adalah spesifikasi lapisan fisik berdasarkan CSS dengan *Forward Error Correction* (FEC) yang terintegrasi. Transmisi menggunakan pita lebar untuk melawan interferensi dan untuk menangani offset frekuensi karena kristal berbiaya rendah. Penerima LoRa dapat memecahkan kode transmisi 19:5 dB di bawah tingkat kebisingan. Dengan demikian, jarak komunikasi yang sangat jauh dapat dijembatani. Properti utama LoRa adalah: jarak jauh, ketahanan tinggi, resistansi multipath, resistansi Doppler, daya rendah. LoRa beroperasi di pita ISM yang lebih rendah (UE: 868MHz dan 433 MHz, AS: 915MHz dan 433 MHz) [9].

Radio LoRa memiliki empat parameter konfigurasi: frekuensi pembawa, faktor penyebaran, bandwidth, dan kecepatan pengkodean. Pemilihan parameter ini menentukan konsumsi energi, jangkauan transmisi, dan ketahanan terhadap kebisingan. Menggunakan radio LoRa dalam jaringan sensor memiliki beberapa aspek yang menarik. Pertama, karena jangkauannya relatif besar (ratusan meter di dalam ruangan, kilometer di luar ruangan), jaringan dapat menjangkau area yang luas tanpa harus melewati banyak hop. Dalam banyak kasus, satu hop dari setiap node ke sink layak dilakukan. Kedua, transmisi pada frekuensi pembawa yang sama, tetapi dengan faktor penyebaran yang berbeda, bersifat ortogonal. Ini menciptakan peluang untuk membagi saluran dalam subsaluran virtual. Ketiga, ketika transmisi terjadi pada saat yang sama dengan parameter yang sama, transmisi terkuat akan diterima dengan probabilitas tinggi, yaitu. transmisi bersamaan tidak merusak bahkan ketika isinya berbeda. Fitur ini dimanfaatkan oleh LoRaWAN di mana semua gateway menyiarkan beacon secara bersamaan (sinkronisasi jam yang ketat melalui GPS) dan perangkat akhir mampu mendemodulasi beacon terkuat [9], [8].

Penggunaan LoRa dalam komunikasi pada jaringan sensor nirkabel memiliki beberapa aspek menarik. Pertama, karena jarak cakupan komunikasi LoRa cukup jauh, jaringan dapat berkomunikasi tanpa melakukan terlalu banyak routing informasi melalui banyak hops. Kedua, meskipun transmisi dilakukan pada frekuensi yang sama, tetapi dapat menggunakan *spread factor* yang berbeda-beda. Ketiga, ketika transmisi terjadi pada waktu yang sama dengan menggunakan parameter yang sama, transmisi yang mempunyai sinyal yang terkuatlah yang akan diterima dengan tingkat probabilitas tinggi [9].

2.1.4 LoRaWAN

Nama LoRaWAN Singkatan dari *Long Range Wide Area Network* dirilis pertama kali pada tahun 2015 oleh LoRa Alliance sebagai standar nirkabel. LoRa dan LoRaWAN tidak dapat dipertukarkan dan ada perbedaan di antara mereka. LoRa menggambarkan modulasi pada lapisan fisik dan LoRaWAN adalah protokol MAC yang mendukung daya rendah, jarak jauh dan kapasitas tinggi di jaringan LPWA. Secara umum, arsitektur sistem dan standar komunikasi

menentukan kinerja teknis teknologi, seperti efisiensi energi untuk menghemat daya baterai, kapasitas jaringan, dan kecepatan data untuk berbagai aplikasi [8].

LoRaWAN adalah protokol jaringan yang dibuat untuk komunikasi nirkabel yang menghubungkan perangkat yang dioperasikan dengan baterai ke internet dalam jaringan besar. Protokol ini mendukung komunikasi berbiaya rendah, seluler, dan aman untuk aplikasi IoT dan mesin-ke-mesin (M2M). Fitur utama Protokol Lora seperti kecepatan data, kapasitas, skema modulasi, dan masa pakai baterai, dll. ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi LoRa

Karakteristik	LoRaWAN
Topology	Star on Star
Modulation	SS Chirp
Data rate	290 bps - 50 kbps
Link Budget	154 dB
Battery lifetime	8 - 10 years
Power Efficiency	Very High
Range	2 - 5 km urban, 15 km suburban, 45 km rural
Interference Immunity	Very High
Mobility	Yes
Security	Yes (32 bits)

2.1.4 Penelitian sebelumnya

Penelitian-penelitian sebelumnya terkait dengan penerapan IoT pada bidang *agriculture* (pertanian) dan khususnya sistem irigasi sudah pernah dilakukan. Secara garis besar penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Penelitian Sistem Irigasi dengan IoT

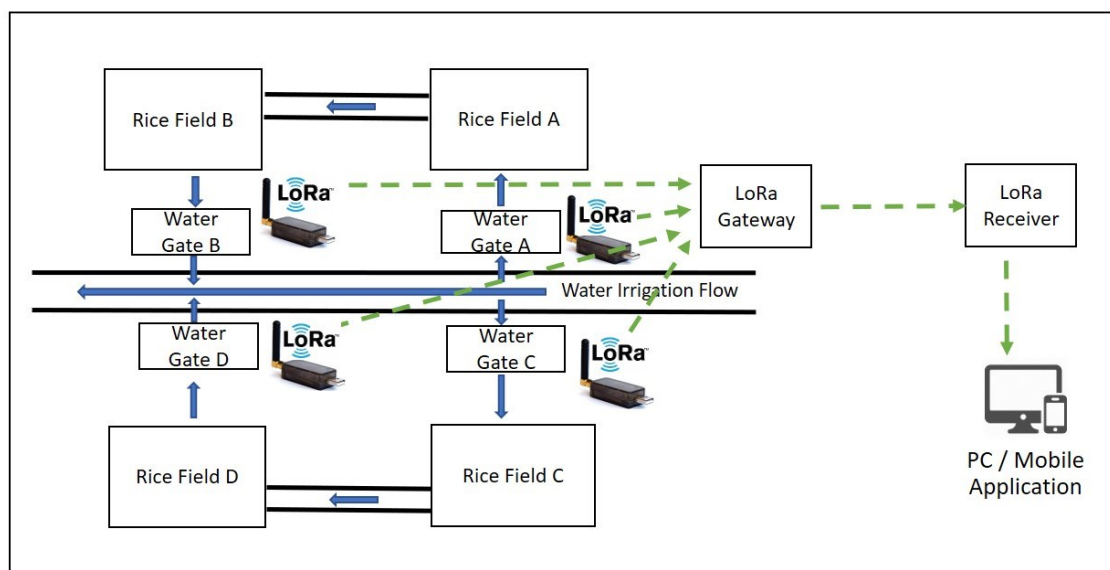
No	Judul Penelitian	Tahun	Alat	Jenis Komunikasi
1	Rancang Bangun Sistem Irigasi Tanaman Otomatis Menggunakan Wireless Sensor Network [1]	2016	NRF24L01, Arduino, Raspberry Pi	Wireless Sensor Network
2	Desain dan Implementasi Internet of Things untuk Smart Agriculture Irrigation [2]	2019	Sensor Higrrometer YL69, Raspberry Pi	Wireless Sensor Network
3	IoT-based intelligent irrigation management and monitoring system using arduino [11]	2019	NRF24L01, Arduino, ESP8266, LDR, Soil Sensor, Small Water Pump	WiFi, Internet, Cloud
4	Prototype for IoT based Rice Field Irrigation System [3]	2019	Wemos D1, Water Level Sensor, DHT-11, Servo Motor SG90	WiFi, Internet, Cloud
5	Smart irrigation system based on internet of things (IOT) [5]	2019	Soil Sensor YL69, DHT-11, BMP-280, NodeMCU	WiFi, Internet, Cloud

6	Internet Of Things Automatic Plant Watering System Using Android [4]	2020	NodeMCU V3, Water Pump, Relay, RTC DS3231, RGB LED, LCD 20x04, I2C, Soil Moisture Sensor YL-69, Access Point, Android	WiFi, Internet, Cloud
7	Development of IoT Based Smart Irrigation System with Programmable Logic Controller [12]	2021	PLC, Sensor, Valve,	-
8	Intelligent and Smart Irrigation System Using Edge Computing and IoT [6]	2021	GSM Module SIM808, DHT-22, Soil Hygrometer Sensor HL-69, Arduino Uno, BH1750 Light Sensor	Internet, Cloud, Machine Learning with KKN algorithm
9	Design of Smart Farm Irrigation Monitoring System Using IoT and LoRa [7]	2022	ESP32, Water Level Sensor, Solenoid Valve, LCD 16x04, LoRa RFM95	Long Range (LoRa)

2.2 Penentuan Parameter LoRa

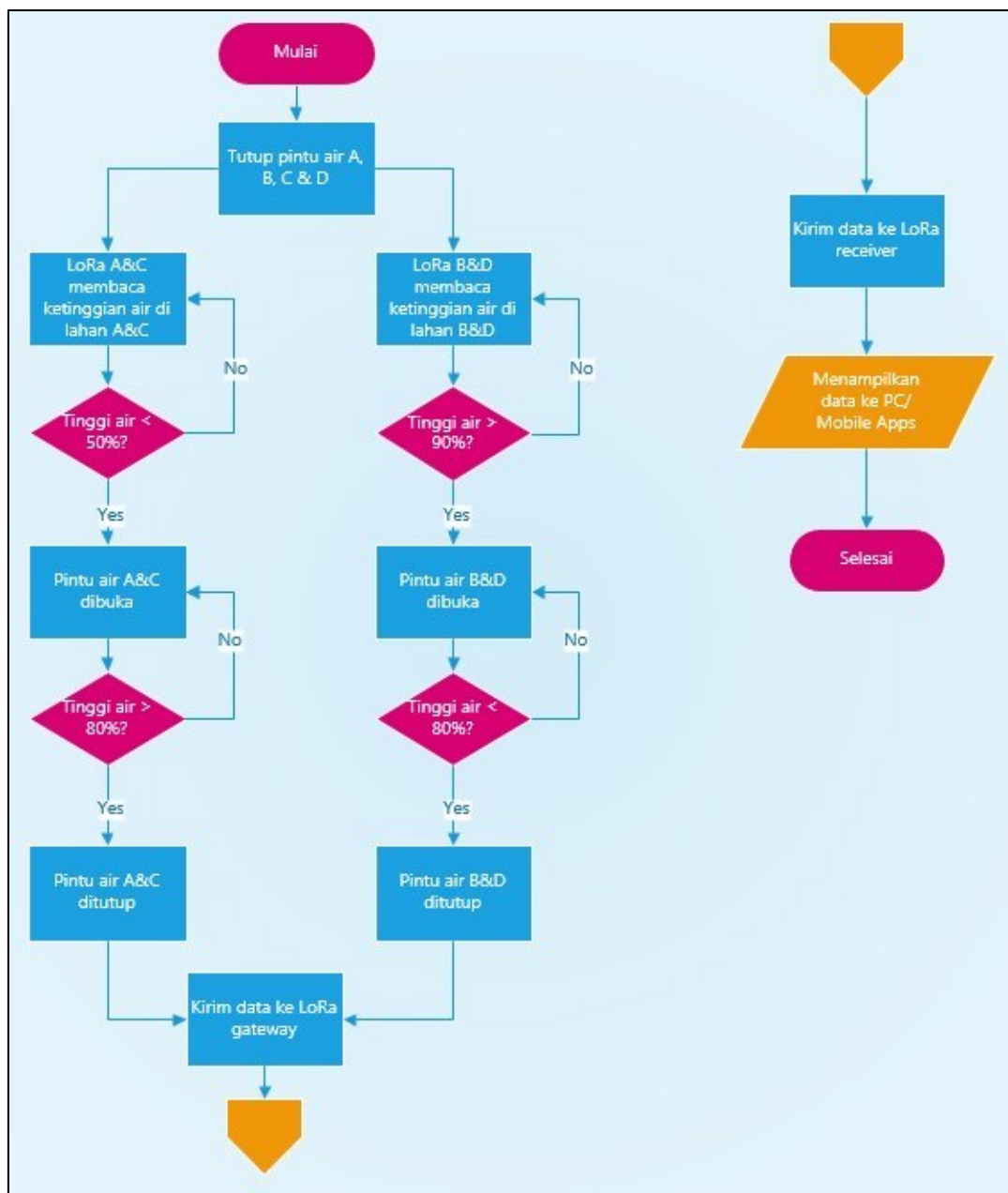
Salah satu faktor penting mengapa LoRa memiliki keunggulan dari model komunikasi nirkabel yang lainnya pada bidang IoT adalah faktor jangkauan komunikasi. Maka dalam hal ini, jangkauan komunikasi LoRa akan digunakan sebagai salah satu parameter dalam evaluasi dan analisis. Secara teori dan dalam kondisi ideal, jangkauan LoRa bisa mencapai sekitar 1-3 km di lingkungan perkotaan dan > 3 km di daerah pedesaan. Parameter lain yang akan digunakan adalah *received signal strength indicator* (RSSI) untuk mengukur sejauh mana kekuatan sinyal dapat diterima, *spreading factor* (SF), *coding rate* (CR), *power transmission*, dan *packet error rate* (BER).

2.3 Perancangan Sistem



Gambar 2. Perancangan sistem cerdas irigasi

Rancangan sistem pada penelitian ini dapat dilihat di Gambar 2. Pada rancangan tersebut, terdapat 4 bidang sawah yang merupakan objek yang akan diatur dalam sistem irigasi ini dan tiap bidang sawah tersebut memiliki sebuah pintu air. Setiap pintu air ini akan dikontrol oleh sebuah mikrokontroler untuk mengatur aliran air yang masuk masuk dan keluar. Disamping itu, mikrokontroler juga akan mengukur ketinggian air pada bidang sawah dengan menggunakan sensor ketinggian air. Jika kebutuhan air pada sawah tersebut kurang banyak, maka mikrokontroler akan membuka pintu air masuk. Namun jika kebutuhan air sudah cukup atau terlalu banyak, pintu air masuk akan ditutup dan pintu air keluar akan dibuka. Sebagai contoh, bidang sawah A dan B saling terhubung dan memiliki masing-masing pintu air. Pintu air A digunakan sebagai pintu air masuk dan pintu air B sebagai pintu air keluar. Hal yang sama dapat dilihat pada bidang sawah C dan D.



Gambar 3. Flowchart cara kerja sistem cerdas irigasi

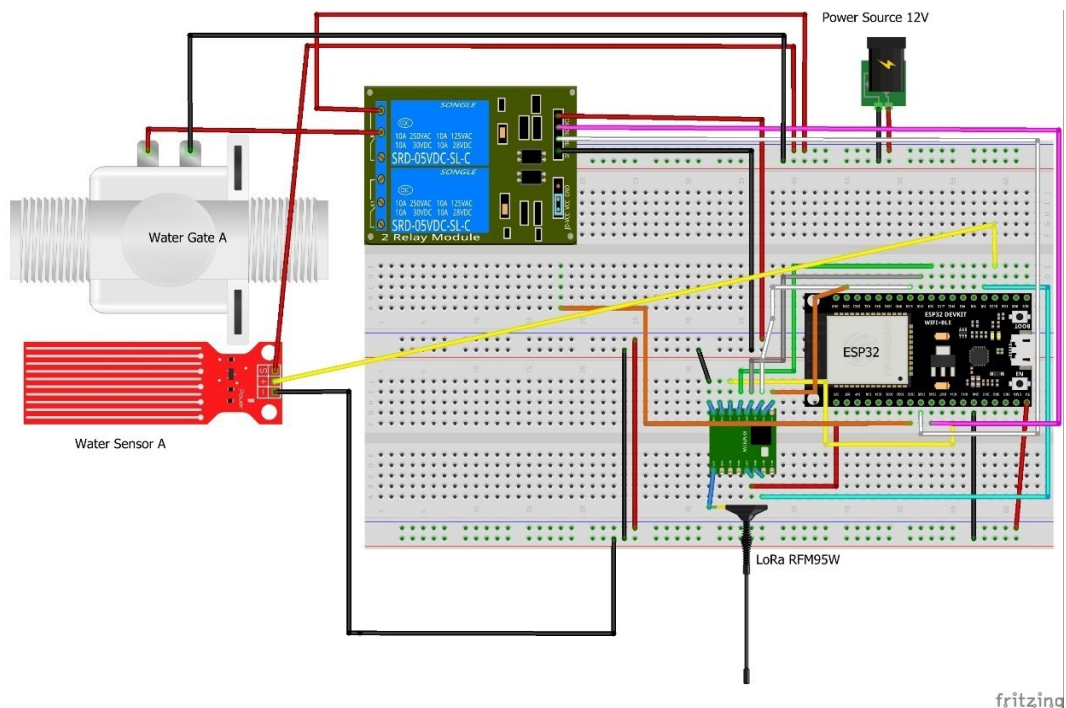
Data informasi yang ada pada tiap-tiap bidang sawah akan dikirimkan ke *gateway* dengan menggunakan komunikasi LoRa secara nirkabel. Kemudian data informasi tersebut akan diteruskan ke LoRa *receiver*. Sistem monitoring dapat dilakukan melalui sebuah aplikasi berbasis web melalui *smartphone* atau PC dengan mengakses data-data yang ada di LoRa *receiver*. Dalam hal ini, semua komunikasi data dilakukan sepenuhnya oleh LoRa tanpa akses internet.

Adapun *flowchart* cara kerja sistem cerdas irigasi dapat dilihat pada Gambar 3. Setelah sistem dijalankan, semua pintu air A, B, C, dan D ditutup. Pintu air A dan C digunakan untuk mengalirkan air masuk ke semua lahan. Sementara pintu air B dan D berfungsi untuk mengeluarkan air dari lahan jika *volume* air berlebihan. Pintu A dan C akan memasukan air jika kondisi volume air kurang dari 50% dan akan menghentikan air masuk jika air sudah lebih dari 80%. Sementara pintu air B dan C akan dibuka jika *volume* air lebih banyak dari 90%. Pada kondisi normal, sistem akan menjaga kondisi *volume* air antara 50% - 80%. Namun jika terjadi hujan lebat, *volume* air pada lahan bis bertambah karena terisi air hujan. Maka kelebihan air ini harus dibuang dengan membuka pintu air B dan C. Setelah itu, LoRa A-D akan mengirimkan semua informasi *volume* air yang ada pada semua lahan ke LoRa *gateway*. LoRa *gateway* selanjutnya meneruskan informasi tersebut ke LoRa *receiver* dan data ditampilkan ke PC / *mobile apps* untuk monitoring.

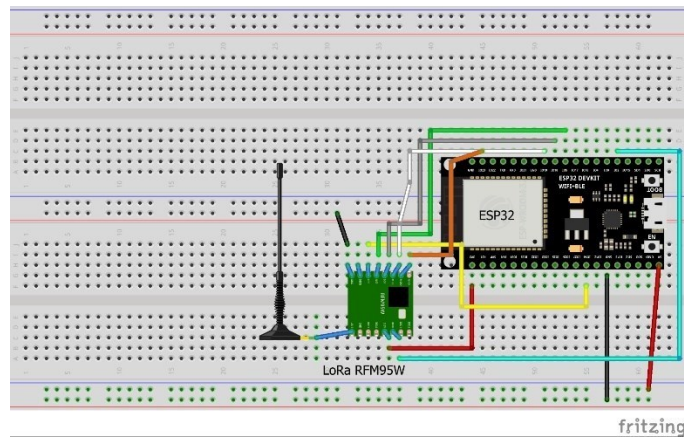
2.4 Pemilihan dan Perakitan Alat

Semua alat yang digunakan untuk membangun sistem irigasi pertanian berbasis IoT dan LoRa ditentukan pada tahap ini. Pada penelitian ini, sistem irigasi yang dibangun adalah berupa prototipe (purwarupa). Adapun alat-alat yang digunakan untuk membangun prototipe ini secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Sensor ketinggian air untuk mengukur kebutuhan air
2. ESP32 sebagai alat kontrol utama atau mikrokontroller.
3. Modul LoRa RMF95W yang bekerja pada frekuensi 915 Mhz.
4. Antena LoRa 3dbi.
5. Relay
6. Solenoid Valve



Gambar 4 Skema rangkaian untuk LoRa A



Gambar 5 Skema rangkaian untuk LoRa gateway dan receiver

Setelah pemilihan alat selesai, proses selanjutnya adalah perakitan. Tahap perakitan prototipe merupakan tahap untuk membangun sistem cerdas irigasi dengan menggunakan alat-alat yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya, yaitu tahap pemilihan alat. Pada tahap ini pula, pengembangan perangkat lunak untuk menjalankan sistem cerdas irigasi dilakukan. Pemrograman yang digunakan adalah C++ dan *tool editor* yang dipakai adalah Arduino IDE. Kemudian, *interface* berbasis Web juga dikembangkan untuk sistem monitoring sistem cerdas irigasi ini.

Skema rangkaian untuk sistem LoRa A dapat ditunjukkan di Gambar 4. Skema rangkaian tersebut juga diterapkan untuk sistem LoRa B, C, dan D karena memiliki rangkaian yang sama. Adapun skema rangkaian untuk LoRa *gateway* dan *receiver* dapat dilihat pada Gambar 5.

2.5 Pengujian dan Pengukuran

Setelah tahap perakitan prototipe selesai, pengujian dan pengukuran prototipe dilakukan pada tahap ini. Tujuannya adalah untuk menguji dan mengecek apakah sistem dan prototipe yang dikembangkan sudah berjalan sebagaimana mestinya. Jika terdapat hal-hal yang tidak sesuai maka perbaikan sistem dan prototipe dapat dikerjakan.

2.6 Evaluasi dan Analisis

Tahap selanjutnya adalah evaluasi dan analisis sistem. Tujuannya adalah untuk menguji dan mengecek apakah sistem dan prototipe yang dikembangkan sudah berjalan sebagaimana mestinya. Evaluasi dan analisis dari hasil pengukuran dari skenario pertama dan kedua dilakukan pada tahap ini. Jika terdapat hal-hal yang tidak sesuai maka perbaikan sistem dan prototipe dapat dikerjakan.

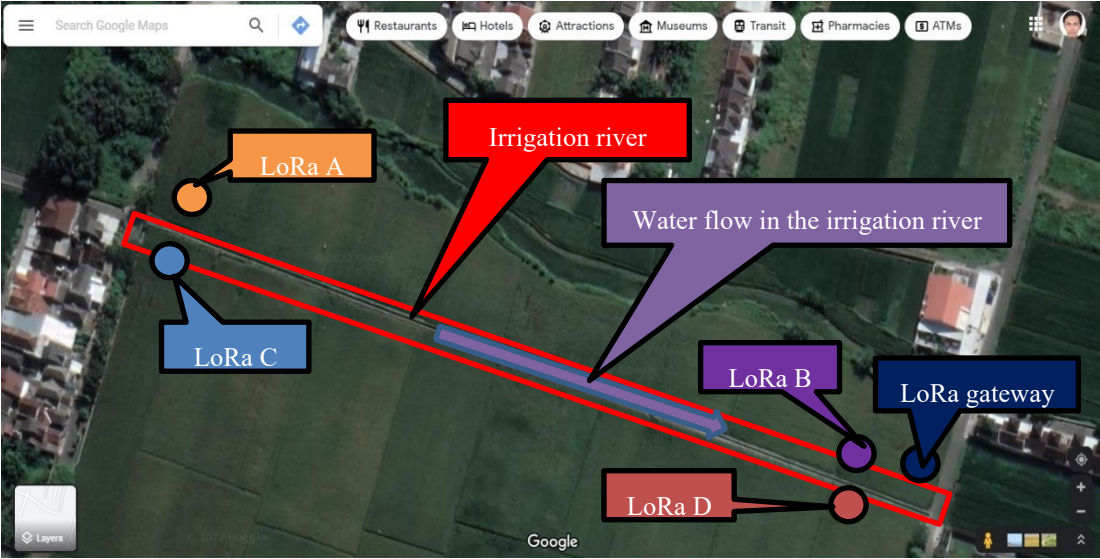
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaturan Eksperimen

3.1.1 Lokasi Eksperimen

Eksperimen dilakukan di daerah persawahan di Kel. Singopuran, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo, Jawa Tengah, Indonesia. Lokasi persawahan tersebut dapat dilihat dengan menggunakan aplikasi Google Maps yang berada di koordinat -7.549747, 110.747984. Alasan pemilihan lokasi ini karena pada daerah tersebut masih terdapat cukup banyak lahan persawahan meskipun terdapat juga pemukiman warga dan juga dekat dengan lokasi peneliti. Lokasi tersebut beserta dengan pengaturan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 6. Terdapat sungai irigasi yang berada di tengah, posisi LoRa A, B, C, D, dan gateway. Aliran air irigasi mengalir dari arah kiri ke kanan. Air tersebut digunakan untuk mengairi lahan persawahan. Jarak antara LoRa A dan B

adalah sekitar 300 m. Semua data informasi dari LoRa A, B, C, dan D akan dikirimkan ke LoRa gateway.



Gambar 6 Lokasi dan pengaturan eksperimen

3.1.2 Pengaturan PHY LoRa dan Paket Data

Tabel 3. Skenario Pengaturan PHY LoRa

ID Paket	TX Power (dBm)	BW (kHz)	CR	SF
125-5-7	13	125	5	7
125-8-7	13	125	8	7
125-5-9	13	125	5	9
125-8-9	13	125	8	9
125-5-11	13	125	5	11
125-8-11	13	125	8	11
250-5-7	13	250	5	7
250-8-7	13	250	8	7

Eksperimen dilakukan dengan memberikan ID paket sesuai dengan pengaturan PHY LoRa. Tabel 3 menunjukkan beberapa skenario berdasarkan ID paket. ID paket terdiri dari 3 komponen yaitu *coding rate* (CR), *bandwidth* (BW), dan *spreading factor* (SF). SF dapat diatur dengan nilai mulai dari 6 hingga 12. Pada pengaturan ini, SF diatur dengan nilai 7 (*default*), 9, dan 11. CR diatur dengan nilai minimum dan maksimum, yaitu 5 dan 8. BW diatur pada nilai 125kHz, kecuali pengaturan pada ID paket 250-5-7 dan 250-8-7. Hanya SF7 yang dapat diatur untuk pengaturan maksimum BW yaitu 250kHz sehingga SF7 mempunyai 2 pilihan yaitu 125kHz dan 250kHz. Untuk nilai TX power diberikan nilai tetap dan tidak berubah-ubah yaitu 13. Adapun ketinggian antenna adalah antara 1 meter hingga 2.5 meter dari permukaan tanah.

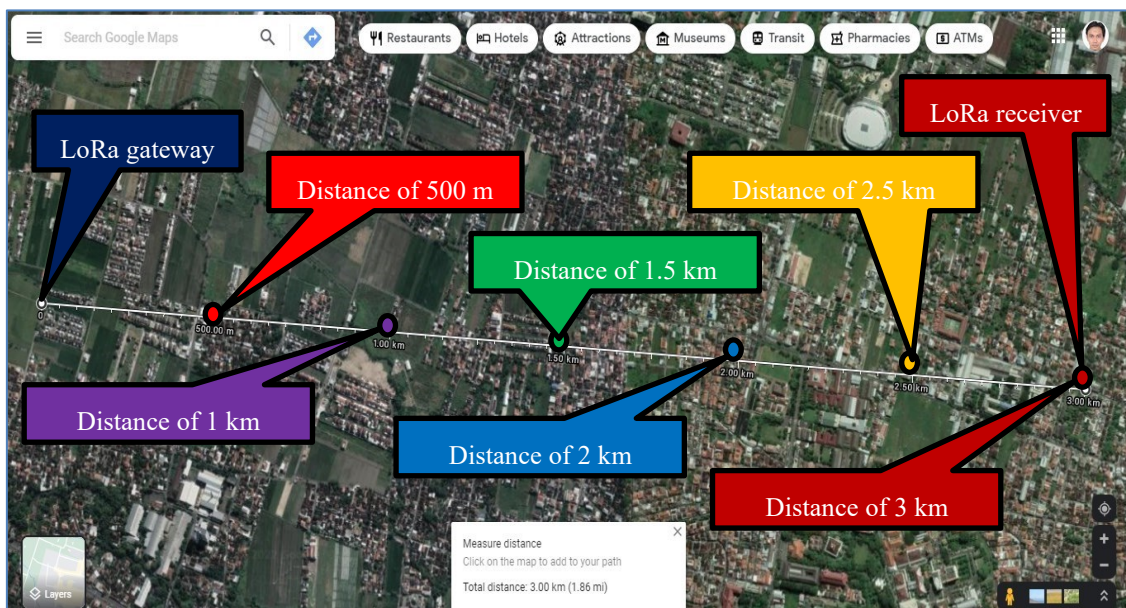
Pada setiap skenario pengaturan PHY LoRa, data yang dikirim adalah sebanyak 100 paket. Struktur data adalah tipe karakter dan berukuran 5 bytes. Byte ke 1-3 digunakan untuk membedakan setingan eksperimen yang digunakan. Byte ke 4 adalah nilai ketinggian air dan byte ke 5 digunakan untuk penomoran paket yang dikirim. Paket data dikirim setiap 5 detik. Hal ini bertujuan untuk memberikan jeda yang cukup dan menghindari interferensi atau tabrakan antara satu paket data dengan paket data yang lainnya. Kemudian, posisi dan jarak LoRa *receiver* berpindah-pindah dari 500 m, 1 km, 1.5 km, 2 km, 2.5 km, dan 3 km. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.

3.1.3 Pengukuran Metrik

Pada eksperimen ini, peneliti akan menghitung keandalan sistem dalam mengirimkan paket data (*reliability*) dan *received signal strength indication* (RSSI). RSSI digunakan untuk menganalisa sistem untuk pengaturan PHY LoRa yang berbeda-beda pada jarak yang berbedabeda pula. *Reliability* dapat dihitung sebagai rasio dari jumlah data yang diterima dengan jumlah data yang dikirim. Rasio ini juga dikenal dengan istilah *packet delivery ratio* (PDR). Rumus menghitung PDR adalah sebagai berikut:

$$PDR = \frac{d}{t}$$

dimana *PDR* adalah *packet delivery ratio*, *d* adalah paket yang berhasil terkirim (*delivered*), dan *t* adalah total paket yang dikirim (*transmitted*).



Gambar 7 Jarak pengukuran antara LoRa gateway dan receiver

3.2 Hasil Eksperimen dan Pembahasan

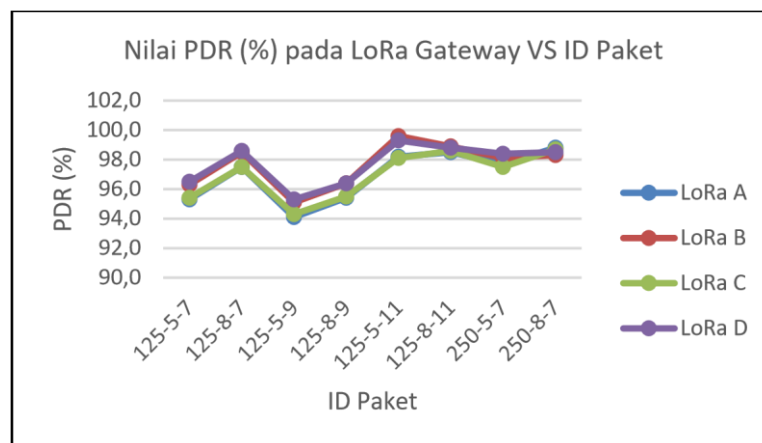
3.2.1 Pengujian LoRa A,B,C,D dan LoRa Gateway

Hasil *packet delivery ratio* (PDR) dan *received signal strength indicator* (RSSI) pada LoRa gateway dapat dilihat pada Tabel 4. ID paket mewakili berbagai pengaturan *bandwidth* (BW), *coding rate* (CR), dan *spreading faactor* (SF). LoRa A dan C memiliki jarak 300m dari gateway. Sedangkan LoRa B dan D berjarak 20m dari gateway. Selain itu, ketinggian antena ditempatkan sekitar dua meter di atas tanah. Hasil percobaan menunjukkan bahwa jarak berpengaruh terhadap nilai RSSI dan PDR. Misalnya, LoRa B dan D memiliki nilai RSSI dan PDR yang lebih tinggi. Sebaliknya, hasil PDR dan RSSI dari LoRa A dan C lebih rendah. Oleh karena itu, semakin pendek jaraknya, semakin baik hasilnya. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pengaturan pada *coding rate* dan *bandwidth* dapat meningkatkan nilai PDR.

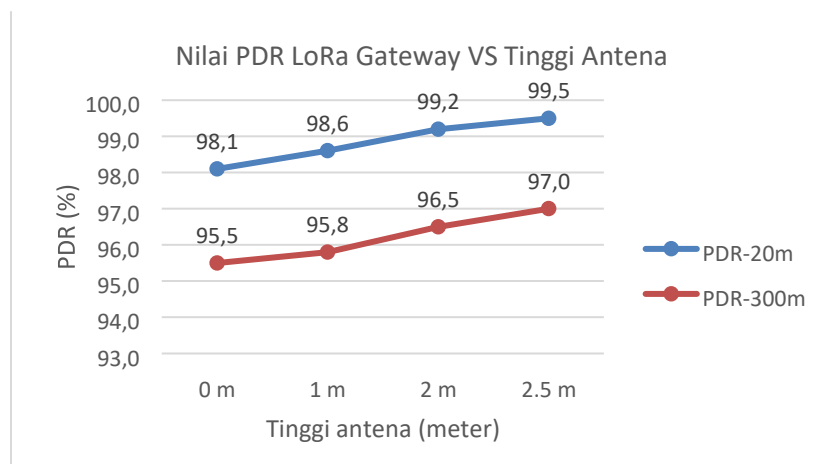
Tabel 4. Hasil pengiriman data dari LoRa A-D ke LoRa gateway dengan setingan PHY berbeda-beda

ID Paket (BWC-R-SF)	LoRa A (300 m)		LoRa C (300 m)		LoRa B (20 m)		LoRa D (20 m)	
	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI
125-5-7	95,3	-71.74	95,4	-71.64	96,3	-59.04	96,5	-59.64
125-8-7	97,5	-69.22	97,5	-69.32	98,5	-51.50	98,6	-51.30
125-5-9	94,1	-71.98	94,3	-71.78	95,1	-55.50	95,3	-55.80
125-8-9	95,4	-76.27	95,5	-76.57	96,4	-53.80	96,4	-53.50
125-5-11	98,2	-78.74	98,1	-78.84	99,6	-55.37	99,3	-55.87
125-8-11	98,5	-75.74	98,6	-75.44	98,9	-58.67	98,8	-58.77
250-5-7	97,7	-70.20	97,5	-70.10	98,1	-55.10	98,4	-55.30
250-8-7	98,8	-69.99	98,7	-69.79	98,3	-55.70	98,5	-55.90

Gambar 7 juga menunjukkan hasil PDR pada LoRa Gateway. Gambar tersebut mengilustrasikan nilai PDR dari Tabel 4. Hasil menunjukkan bahwa LoRa node dengan jarak yang lebih pendek memiliki hasil yang lebih baik. Selain itu, gambar 8 menunjukkan dampak tinggi antenna terhadap hasil PDR di LoRa Gateway. Antena ditempatkan di atas tanah dengan ketinggian yang berbeda dari 0m hingga 2,5m. Ini menunjukkan semakin tinggi antenna, semakin baik hasil PDR.



Gambar 7 Nilai PDR pada LoRa gateway VS ID paket



Gambar 8 Nilai PDR pada LoRa gateway VS ID paket

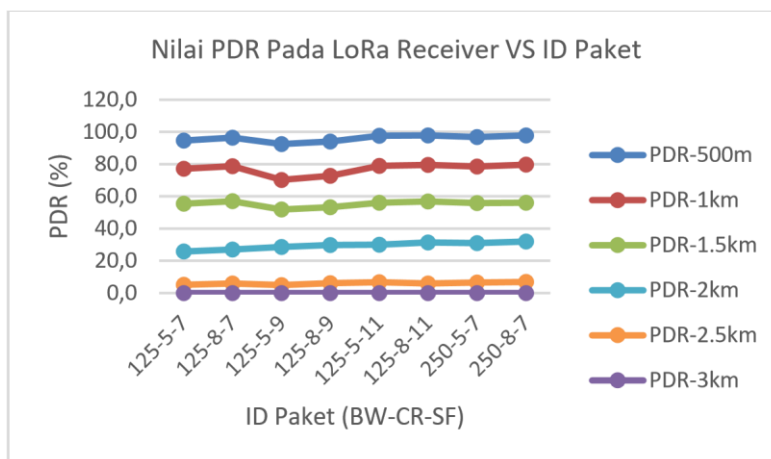
3.2.2 Pengujian LoRa Gateway dan LoRa Receiver

Hasil PDR dan RSSI pada LoRa *Receiver* dapat dilihat pada Tabel 6. Posisi LoRa *Receiver* dari LoRa *Gateway* dievaluasi dengan jarak yang berbeda dari 500 meter hingga 3 kilometer seperti pengaturan yang ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil tersebut menunjukkan bahwa LoRa *Receiver* dapat menerima paket yang masuk hingga 2,5 kilometer. Namun, ia memiliki nomor PDR terburuk. Itu sekitar 5% sampai 7% dari PDR. Penerima juga tidak bisa mendapatkan paket sama sekali dalam jarak 3 kilometer. Dengan angka-angka ini, tidak disarankan untuk menerapkan sistem ini dalam skenario dunia nyata. Sedangkan nilai PDR dapat diterima secara optimal jika jarak tempuh kurang dari 1 kilometer dengan nilai 70%-90%. Meskipun demikian, Penerima LoRa masih dapat menerima paket dengan cukup baik pada jarak 1,5 kilometer dengan PDR sekitar 50%. Oleh karena itu, untuk penerapan pada kasus nyata, khususnya pada sistem irigasi, sebaiknya node LoRa ditempatkan dengan jarak kurang dari 1 kilometer.

Tabel 6. Hasil pengiriman data dari LoRa gateway ke LoRa receiver *versus* jarak

ID Paket (BW-CR-SF)	500 m		1 km		1.5 km		2 km		2.5 km		3 km	
	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI	PDR (%)	RSSI
125-5-7	94.6	-75.7	77.1	-96.6	55.5	-110.7	25.8	-122.1	5.1	-122.5	0	0
125-8-7	96.4	-72.2	78.7	-99.6	57.0	-111.7	27.1	-121.6	5.9	-121.0	0	0
125-5-9	92.5	-72.9	70.3	-97.4	51.9	-112.6	28.7	-122.3	5.0	-122.5	0	0
125-8-9	94.1	-77.1	72.7	-99.9	53.4	-110.3	29.9	-121.0	6.1	-121.6	0	0
125-5-11	97.7	-78.6	78.9	-96.7	56.0	-112.1	30.0	-121.3	6.7	-121.8	0	0
125-8-11	97.9	-79.1	79.5	-98.7	56.9	-109.7	31.4	-122.5	6.0	-122.0	0	0
250-5-7	96.9	-75.4	78.6	-96.4	55.8	-110.4	31.1	-122.2	6.6	-122.5	0	0
250-8-7	97.9	-71.8	79.7	-97.9	56.0	-110.1	32.0	-121.8	6.9	-121.9	0	0

Gambar 9 menyajikan grafik dari Tabel 6. Kita dapat melihat dengan jelas bahwa LoRa *Receiver* dengan jarak 500 meter memiliki nilai PDR tertinggi. Sebaliknya, *Receiver* dengan jarak 2,5 kilometer memiliki angka PDR paling rendah. Ini adalah sekitar kurang dari 7%.



Gambar 9 Nilai PDR pada LoRa receiver VS ID paket

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Artikel ini membahas tentang evaluasi dan analisis kinerja LoRa yang diterapkan pada sistem irigasi pertanian berbasis IoT. Pada sistem ini, terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu *received signal strength indicator* (RSSI) dan *packet delivery ratio* (PDR). Data informasi yang dikirimkan dengan komunikasi LoRa adalah nilai ketinggian air pada lahan pertanian. Hasil percobaan menunjukkan bahwa LoRa dapat diterapkan pada sistem irigasi pertanian. LoRa juga dapat mengirimkan paket data sejauh 2.5 km tapi dengan nilai PDR sangat rendah yaitu kurang dari 10%. Hal ini menjadikan sistem tidak bekerja dengan baik dan tidak direkomendasikan. Sistem akan bekerja dengan baik dan optimal jika jarak LoRa kurang dari 1 km. Nilai PDR yang diperoleh dengan jarak tersebut adalah sekitar 70-100%. Hasil percobaan juga memperlihatkan bahwa sistem tersebut dapat dimonitor dengan aplikasi *web browser* melalui komputer atau *smartphone*.

Salah satu tantangan pada sistem ini adalah tingkat PDR akan mulai menurun jika jarak LoRa > 1 km. Maka untuk penelitian selanjutnya, perlu adanya investigasi lebih dalam untuk mengatasi nilai PDR yang rendah. Sebuah metode untuk mengurangi tingkat eror paket pada komunikasi LoRa sangat diperlukan. Hal ini bertujuan agar LoRa dapat diterapkan pada kasuskasus tertentu dalam dunia pertanian secara nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada Jurusan Informatika, Universitas Islam Indonesia yang telah mendanai penelitian ini dengan skema penelitian kolaborasi dosen dan mahasiswa 2022. Terima kasih juga kepada Adam Nurfaizi dan Beni Ike Hendra Kuswara yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Syamsiar, M. Rivai, and S. Suwito, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Tanaman Otomatis Menggunakan Wireless Sensor Network," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16512.
- [2] J. Setyowati, I., Novianto, D., Pamungkas, "Desain dan Implementasi Internet of Things untuk Smart Agriculture Irrigation," in *Seminar Nasional PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM BERKESINAMBUNGAN DI KAWASAN GUNUNG BERAPI*, 2019, pp. 5–8, [Online]. Available: <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/lppmpmp/article/view/1843>.
- [3] M. F. Asnawi and F. Syukriasari, "A prototype for IoT based Rice Field Irrigation System," *Sinkron*, vol. 3, no. 2, p. 260, 2019, doi: 10.33395/sinkron.v3i2.10071.
- [4] R. Siskandar, M. A. Fadhil, B. R. Kusumah, I. Irmansyah, and I. Irzaman, "Internet of Things: Automatic Plant Watering System Using Android," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 9, no. 4, p. 297, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9i4.297-310.
- [5] N. Ismail *et al.*, "Smart irrigation system based on internet of things (IOT)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1339, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1339/1/012012.
- [6] M. S. Munir, I. S. Bajwa, A. Ashraf, W. Anwar, and R. Rashid, "Intelligent and Smart Irrigation System Using Edge Computing and IoT," *Complexity*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6691571.
- [7] K. D. Irianto, "Design of Smart Farm Irrigation Monitoring System Using IoT and LoRA," *RESTI*, vol. 6, no. 1, pp. 47–56, 2022, doi: <https://doi.org/10.29207/resti.v6i1.3707>.
- [8] I. Khan, "Suitability of LoRa, SigFox and NB-IoT Different Internet-of-Things Applications," 2019.
- [9] M. Bor, J. Vidler, and U. Roedig, "LoRa for the Internet of Things," 2016.

- [10] A. Zourmand, A. L. Kun Hing, C. Wai Hung, and M. Abdulrehman, "Internet of Things (IoT) using LoRa technology," in *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2019 - Proceedings*, 2019, no. June, pp. 324–330, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825008.
- [11] F. Kamaruddin, N. N. N. A. Malik, N. A. Murad, N. M. azzah A. Latiff, S. K. S. Yusof, and S. A. Hamzah, "IoT-based intelligent irrigation management and monitoring system using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 17, no. 5, pp. 2378–2388, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v17i5.12818.
- [12] I. Hari, E. Rahmarestya, and H. Harsono, "Development of IoT Based Smart Irrigation System with Programmable Logic Controller," *Int. J. Agric. Syst.*, vol. 9, no. 1, pp. 27–39, 2021, doi: 10.20956/ijas.v9i1.