TRANSMISI SENSOR DENGAN TOPOLOGI TREE BERBASIS KOMUNIKASI JARAK JAUH DAN INTERNET

Viktorius Perdi[1], Jannus Marpaung[2], Leonardus Sandy Ade Putra[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura
[1]viktoriusperdi123@gmail.com

Abstract

The limited communication range in Wireless Sensor Networks (WSN) is a critical issue when sensor nodes cannot communicate directly with the gateway. This study designs and evaluates a LoRa RFM95W-based sensor transmission system using a tree topology and a two-level polling mechanism. The system consists of an ESP32 gateway connected to the internet, Arduino Nano-based gate devices, Arduino Nano-based sensor nodes, and DHT22 sensors for temperature and humidity measurements. Testing was conducted in three scenarios: one node through one gate, two nodes through one gate, and a full system with two gates and four sensor nodes. Communication performance was evaluated using Received Signal Strength Indicator (RSSI), Signal-to-Noise Ratio (SNR), Packet Delivery Ratio (PDR), and packet loss. The results show that all scenarios successfully transmitted data in a hierarchical path from sensor nodes to gates and then to the gateway. The system achieved 100% PDR and 0% packet loss in all scenarios, while data were displayed in real time on the Thinger.io platform. These results indicate that the tree topology combined with two-level polling can support stable hierarchical LoRa-based IoT sensor communication.

***Keywords**: LoRa, tree topology, WSN, two-level polling, IoT*

Abstrak

Keterbatasan jangkauan komunikasi pada Wireless Sensor Network (WSN) menjadi masalah penting ketika node sensor tidak dapat berkomunikasi langsung dengan gateway. Penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem transmisi sensor berbasis LoRa RFM95W menggunakan topologi tree dan metode two-level polling. Sistem terdiri atas ESP32 sebagai gateway yang terhubung ke internet, Arduino Nano sebagai gate, Arduino Nano sebagai node sensor, serta sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembapan. Pengujian dilakukan dalam tiga skenario, yaitu satu node melalui satu gate, dua node melalui satu gate, dan sistem penuh dengan dua gate serta empat node sensor. Kinerja komunikasi dianalisis berdasarkan Received Signal Strength Indicator (RSSI), Signal-to-Noise Ratio (SNR), Packet Delivery Ratio (PDR), dan packet loss. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario mampu mengirimkan data secara bertingkat dari node sensor menuju gate dan diteruskan ke gateway. Sistem memperoleh PDR 100% dan packet loss 0% pada seluruh skenario, sedangkan data sensor berhasil ditampilkan secara real-time pada

Article History
Received: June 2026
Reviewed: June 2026
Published: July 2026

Plagiarism Checker No.: 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

platform Thinger.io. Hasil ini menunjukkan bahwa topologi tree dengan metode two-level polling dapat mendukung komunikasi sensor berbasis LoRa dan IoT secara bertingkat dan stabil.
Kata kunci: LoRa, topologi tree, WSN, two-level polling, IoT

1. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan sistem jaringan yang terdiri atas sejumlah node sensor untuk melakukan akuisisi data, pemrosesan, dan pengiriman informasi secara nirkabel. WSN banyak digunakan pada aplikasi Internet of Things (IoT), monitoring lingkungan, dan sistem kendali terdistribusi. Namun, keterbatasan jangkauan komunikasi masih menjadi kendala utama, terutama ketika node sensor berada jauh dari gateway atau berada pada lingkungan dengan hambatan fisik.

Teknologi LoRa (Long Range) banyak digunakan untuk komunikasi jarak jauh berdaya rendah karena memiliki kemampuan menjangkau area yang lebih luas dibandingkan beberapa komunikasi nirkabel jarak pendek [1], [2]. Meskipun demikian, sebagian besar implementasi LoRa masih menggunakan pola komunikasi langsung antara node dan gateway. Pola tersebut kurang fleksibel ketika node berada pada titik yang tidak dapat dijangkau langsung oleh gateway.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring berbasis LoRa dan IoT, misalnya untuk weather station, monitoring tanaman, telemetri suhu, dan telemetri panel surya [3]-[6]. Penelitian tersebut membuktikan bahwa LoRa dapat digunakan untuk transmisi data sensor secara real-time. Akan tetapi, sebagian besar sistem masih berfokus pada komunikasi point-to-point atau topologi star, sehingga belum menekankan susunan gateway, gate, dan node sensor dalam struktur komunikasi bertingkat.

Pada jaringan sensor dengan jumlah perangkat yang bertambah, pengiriman data secara langsung dan tidak terjadwal dapat meningkatkan risiko collision, timeout, atau keterlambatan penerimaan data. Oleh karena itu, struktur komunikasi perlu dirancang bukan hanya dari sisi perangkat keras, tetapi juga dari sisi mekanisme pengaturan akses kanal. Mekanisme polling dapat digunakan karena setiap node hanya mengirimkan data ketika menerima permintaan dari perangkat pengendali.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem transmisi sensor berbasis LoRa RFM95W menggunakan topologi tree dan metode two-level polling. Topologi tree digunakan agar data dari node sensor dapat diteruskan melalui perangkat perantara berupa gate, sedangkan two-level polling digunakan untuk mengatur urutan komunikasi agar pengiriman data lebih terstruktur. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan RSSI, SNR, PDR, dan packet loss.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Sistem

Sistem dirancang dengan tiga tingkatan perangkat, yaitu gateway, gate, dan node sensor. Gateway menggunakan ESP32 dan modul LoRa RFM95W sebagai pusat komunikasi serta penghubung ke platform IoT. Gate menggunakan Arduino Nano dan LoRa RFM95W sebagai perangkat perantara. Node sensor menggunakan Arduino Nano, LoRa RFM95W, dan sensor DHT22 untuk membaca data suhu serta kelembapan. Rancangan perangkat utama ditunjukkan pada Tabel 1.

Pemilihan ESP32 pada gateway didasarkan pada ketersediaan koneksi WiFi yang diperlukan untuk mengirim data ke platform IoT. Arduino Nano digunakan pada gate dan node sensor karena memiliki ukuran kecil, cukup untuk pemrosesan data sensor, serta mendukung

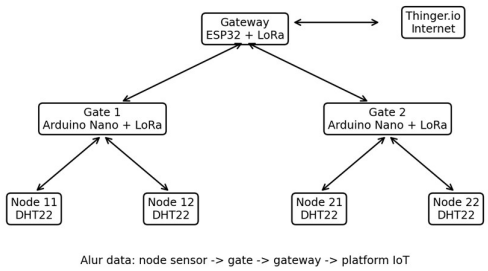
komunikasi SPI yang diperlukan oleh modul LoRa RFM95W. Sensor DHT22 digunakan karena mampu membaca suhu dan kelembapan secara digital sehingga sesuai untuk sistem monitoring lingkungan sederhana.

Tabel 1. Perangkat utama sistem

Bagian sistem	Perangkat	Fungsi
Gateway	ESP32 + LoRa RFM95W	pusat komunikasi dan penghubung ke platform IoT
Gate	Arduino Nano + LoRa RFM95W	perantara komunikasi node sensor menuju gateway
Node sensor	Arduino Nano + LoRa RFM95W + DHT22	pembaca suhu dan kelembapan

Struktur topologi yang digunakan adalah topologi tree. Node 11 dan Node 12 berada di bawah koordinasi Gate 1, sedangkan Node 21 dan Node 22 berada di bawah koordinasi Gate 2. Gateway berada pada tingkat tertinggi dan menerima data dari setiap gate. Setiap perangkat juga diberi identitas program agar paket yang dikirim melalui LoRa dapat dikenali asal dan tujuannya.

Gambar 1. Arsitektur sistem transmisi sensor berbasis topologi tree



Tabel 2. Identitas perangkat LoRa pada program

Perangkat	ID	Keterangan
Gateway	0	pusat komunikasi dan penghubung ke platform IoT
Gate 1	1	perantara untuk Node 11 dan Node 12
Gate 2	2	perantara untuk Node 21 dan Node 22
Node 11	11	node sensor di bawah koordinasi Gate 1
Node 12	12	node sensor di bawah koordinasi Gate 1
Node 21	21	node sensor di bawah koordinasi Gate 2
Node 22	22	node sensor di bawah koordinasi Gate 2

2.2 Metode Two-Level Polling

Metode komunikasi yang digunakan adalah two-level polling. Pada tingkat pertama, gateway mengirimkan permintaan data kepada Gate 1 dan Gate 2 secara bergantian. Pada tingkat kedua, setiap gate mengirimkan permintaan data kepada node sensor yang berada di bawah koordinasinya. Node sensor hanya mengirimkan data setelah menerima perintah polling, sehingga potensi tabrakan data dapat dikurangi [13], [14].

Alur komunikasi dimulai dari gateway menuju gate, dilanjutkan dari gate menuju node sensor, kemudian data dikirim kembali dari node sensor ke gate dan diteruskan ke gateway. Data yang telah diterima oleh gateway kemudian dikirimkan ke platform Thinger.io melalui koneksi internet pada ESP32. Mekanisme ini memungkinkan data suhu, kelembapan, RSSI, dan SNR ditampilkan secara real-time.

Tabel 3. Alur metode two-level polling

Langkah	Proses
1	Gateway menginisialisasi WiFi, Thinger.io, dan LoRa.
2	Gateway mengirim perintah polling ke gate dan menunggu balasan.
3	Gate melakukan polling ke node sensor secara berurutan.
4	Node sensor membaca DHT22 dan mengirim paket ke gate.
5	Gate membentuk data agregat dan meneruskannya ke gateway.
6	Gateway mengirim data suhu, kelembapan, RSSI, dan SNR ke platform IoT.

2.3 Skenario dan Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan pada skala Laboratorium Telekomunikasi Universitas Tanjungpura dengan posisi perangkat dan jarak antarperangkat yang tetap. Terdapat tiga skenario pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Setiap jalur komunikasi diuji sebanyak 10 siklus.
Parameter kinerja komunikasi yang dianalisis meliputi RSSI untuk mengetahui kekuatan sinyal yang diterima, SNR untuk mengetahui perbandingan sinyal terhadap derau, PDR untuk mengetahui keberhasilan pengiriman paket, dan packet loss untuk mengetahui persentase paket yang gagal diterima. Nilai PDR dihitung dengan membagi jumlah paket diterima terhadap jumlah paket dikirim, sedangkan packet loss dihitung dari jumlah paket gagal diterima terhadap jumlah paket dikirim [7], [8].
Pengujian ini tidak hanya mengevaluasi apakah paket data dapat diterima, tetapi juga mengamati kestabilan kualitas komunikasi pada setiap jalur. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya menggambarkan keberhasilan sistem secara fungsional, tetapi juga menunjukkan karakteristik komunikasi LoRa dalam susunan topologi tree.

Tabel 4. Skenario pengujian sistem

Skenario	Susunan perangkat	Jumlah jalur	Total paket
Skenario 1	Gateway-Gate 1-Node 11	2 jalur	20 paket
Skenario 2	Gateway-Gate 1-Node 11 dan Node 12	3 jalur	30 paket
Skenario 3	Gateway-Gate 1/Gate 2-Node 11/12/21/22	6 jalur	60 paket

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan peralatan yang telah dibuat dan koding program yang ditanamkan pada setiap perangkat tersebut, maka langkah selanjutnya adalah pengujian untuk mendapatkan data kinerja komunikasi antara perangkat dalam topologi tree berbasis komunikasi jarak jauh dan internet.

3.1. Kinerja RSSI dan SNR

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh jalur komunikasi berhasil menerima data pada setiap siklus. Ringkasan rata-rata RSSI, SNR, dan PDR tiap jalur ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai RSSI pada jalur node sensor menuju gate berada pada kisaran -102,2 dBm hingga -103,9 dBm, sedangkan nilai RSSI pada jalur gate menuju gateway berada pada kisaran -108,4 dBm

hingga -109,4 dBm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sinyal pada jalur gate menuju gateway cenderung lebih lemah dibandingkan jalur node sensor menuju gate.

Pada parameter SNR, jalur node sensor menuju gate memperoleh nilai negatif pada seluruh skenario. Meskipun demikian, seluruh paket tetap berhasil diterima. Hal ini menunjukkan bahwa sistem masih mampu bekerja pada kondisi sinyal lemah karena karakteristik LoRa mendukung penerimaan data pada kondisi SNR rendah [9], [10]. Pada jalur gate menuju gateway, nilai SNR lebih tinggi, bahkan Gate 2 menuju gateway pada Skenario 3 memperoleh rata-rata SNR positif sebesar 0,19 dB.

Tabel 5. Ringkasan rata-rata parameter komunikasi LoRa

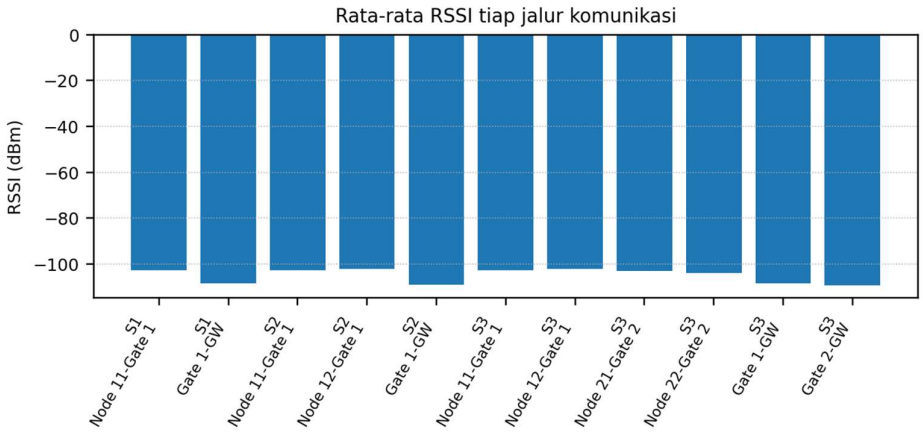
Skenario	Jalur	RSSI (dBm)	SNR (dB)	PDR (%)
Skenario 1	Node 11-Gate 1	-102.8	-12.59	100
Skenario 1	Gate 1-Gateway	-108.4	-0.60	100
Skenario 2	Node 11-Gate 1	-102.8	-11.12	100
Skenario 2	Node 12-Gate 1	-102.2	-10.89	100
Skenario 2	Gate 1-Gateway	-109.0	-0.39	100
Skenario 3	Node 11-Gate 1	-102.7	-11.26	100
Skenario 3	Node 12-Gate 1	-102.2	-11.16	100
Skenario 3	Node 21-Gate 2	-103.0	-11.18	100
Skenario 3	Node 22-Gate 2	-103.9	-9.97	100
Skenario 3	Gate 1-Gateway	-108.6	-0.96	100
Skenario 3	Gate 2-Gateway	-109.4	0.19	100

Untuk memperjelas variasi data selama 10 siklus, Tabel 6 menunjukkan rentang RSSI dan SNR pada setiap jalur. Rentang ini menunjukkan bahwa perubahan nilai antar-siklus relatif masih dapat diterima karena semua status penerimaan paket bernilai true. Variasi nilai yang muncul menunjukkan adanya pengaruh posisi perangkat dan kondisi lingkungan, tetapi tidak menyebabkan gangguan pada keberhasilan penerimaan paket.

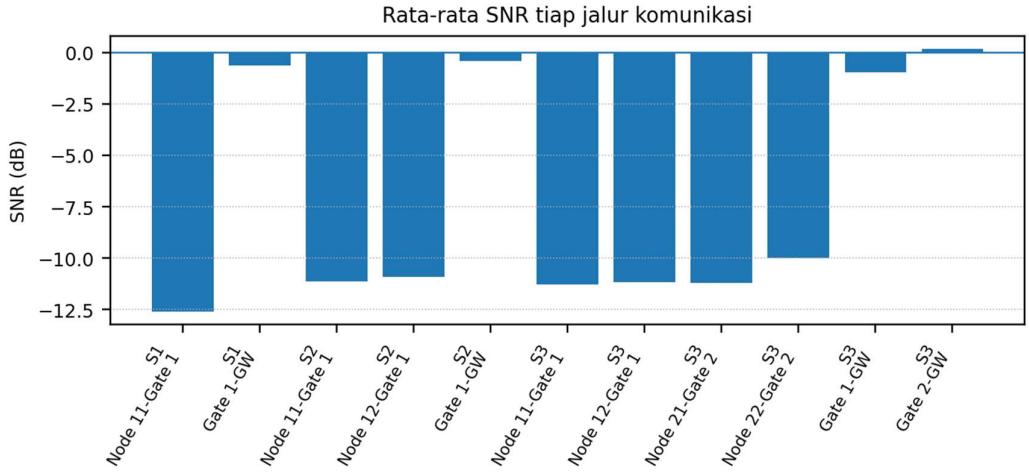
Tabel 6. Rentang RSSI dan SNR pada setiap jalur

Jalur	Rentang RSSI	Rentang SNR
S1 Node 11-Gate 1	-105 s.d. -102	-16.00 s.d. -8.50
S1 Gate 1-Gateway	-110 s.d. -107	-3.00 s.d. 1.25
S2 Node 11-Gate 1	-105 s.d. -101	-14.80 s.d. -8.50
S2 Node 12-Gate 1	-106 s.d. -101	-13.50 s.d. -8.80
S2 Gate 1-Gateway	-111 s.d. -107	-2.00 s.d. 1.25
S3 Node 11-Gate 1	-105 s.d. -101	-13.50 s.d. -9.50
S3 Node 12-Gate 1	-106 s.d. -101	-13.50 s.d. -9.00
S3 Node 21-Gate 2	-104 s.d. -102	-14.80 s.d. -8.50
S3 Node 22-Gate 2	-106 s.d. -102	-13.00 s.d. -8.80
S3 Gate 1-Gateway	-111 s.d. -107	-2.00 s.d. 0.50
S3 Gate 2-Gateway	-111 s.d. -108	-1.80 s.d. 1.25

Gambar 2. Rata-rata RSSI tiap jalur komunikasi



Gambar 3. Rata-rata SNR tiap jalur komunikasi



3.2. Analisis Setiap Skenario

Pada Skenario 1, sistem diuji menggunakan satu node sensor dan satu gate. Jalur Node 11-Gate 1 memperoleh rata-rata RSSI -102,8 dBm dan rata-rata SNR -12,59 dB. Jalur Gate 1-Gateway memperoleh rata-rata RSSI -108,4 dBm dan rata-rata SNR -0,60 dB. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal tidak hanya ditentukan oleh kuat sinyal, tetapi juga oleh kondisi derau pada jalur komunikasi.

Pada Skenario 2, penambahan Node 12 di bawah koordinasi Gate 1 tidak menyebabkan penurunan keberhasilan komunikasi. Node 11-Gate 1 memperoleh rata-rata RSSI -102,8 dBm dan SNR -11,12 dB, sedangkan Node 12-Gate 1 memperoleh rata-rata RSSI -102,2 dBm dan SNR -10,89 dB. Gate 1-Gateway memperoleh rata-rata RSSI -109,0 dBm dan SNR -0,39 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa satu gate mampu menangani dua node sensor ketika pengiriman data diatur secara berurutan.

Pada Skenario 3, seluruh perangkat diaktifkan secara bersamaan. Jalur node sensor menuju gate memiliki rata-rata RSSI yang berdekatan, yaitu antara -102,2 dBm dan -103,9 dBm. Pada jalur gate menuju gateway, Gate 1-Gateway memperoleh rata-rata RSSI -108,6 dBm dan SNR -0,96 dB, sedangkan Gate 2-Gateway memperoleh rata-rata RSSI -109,4 dBm dan SNR 0,19 dB. Dengan demikian, sistem penuh tetap dapat bekerja meskipun jumlah perangkat dan jalur komunikasi bertambah.

Jika dibandingkan antar-skenario, penambahan perangkat tidak menyebabkan packet loss. Hal ini disebabkan proses komunikasi tidak dilakukan secara bebas, tetapi dikendalikan melalui polling. Setiap node hanya mengirimkan data ketika diminta oleh gate, sedangkan gate hanya mengirimkan data ketika diminta oleh gateway. Pola ini membuat aliran data lebih teratur dan mengurangi kemungkinan tabrakan paket.

3.3. Packet Delivery Ratio dan Packet Loss

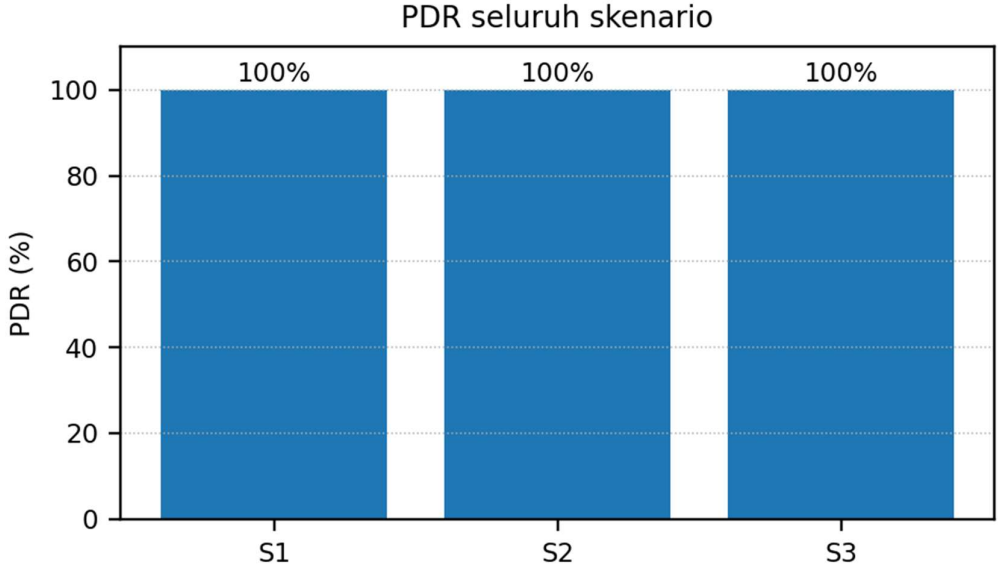
Ringkasan PDR dan packet loss seluruh skenario ditunjukkan pada Tabel 7. Pada Skenario 1, sistem mengirimkan 20 paket melalui dua jalur komunikasi dan seluruh paket berhasil diterima. Pada Skenario 2, sistem mengirimkan 30 paket melalui tiga jalur komunikasi dan seluruh paket juga berhasil diterima. Pada Skenario 3, sistem penuh mengirimkan 60 paket melalui enam jalur komunikasi tanpa kehilangan paket.

Seluruh skenario menghasilkan PDR sebesar 100% dan packet loss sebesar 0%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan node sensor dan gate tidak menurunkan keberhasilan penerimaan paket pada kondisi pengujian yang dilakukan. Pada Skenario 3, seluruh perangkat aktif secara bersamaan, tetapi komunikasi tetap teratur karena gateway dan gate melakukan polling secara berurutan.

Tabel 7. Ringkasan PDR dan packet loss seluruh skenario

Skenario	Jumlah jalur	Paket dikirim	Paket diterima	PDR (%)	Packet loss (%)
Skenario 1	2 jalur	20	20	100	0
Skenario 2	3 jalur	30	30	100	0
Skenario 3	6 jalur	60	60	100	0

Gambar 4. PDR pada seluruh skenario pengujian



3.4. Data Sensor dan Integrasi IoT

Selain parameter komunikasi, sistem juga mengirimkan data suhu dan kelembapan dari setiap node sensor. Ringkasan data lingkungan ditunjukkan pada Tabel 8. Perbedaan nilai suhu dan kelembapan antar-node menunjukkan bahwa setiap sensor membaca kondisi pada titik pengukuran yang berbeda. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh posisi sensor, sirkulasi udara, paparan panas, dan kondisi lingkungan sekitar perangkat.

Data suhu dan kelembapan yang diterima gateway berhasil ditampilkan pada platform Thinger.io. Gateway berbasis ESP32 menerima data dari gate, kemudian mengirimkan data tersebut ke platform IoT melalui koneksi WiFi. Hasil ini menunjukkan bahwa gateway berfungsi ganda sebagai pusat penerima LoRa dan sebagai penghubung jaringan sensor ke internet [11], [12].

Integrasi IoT menjadi bagian penting karena data tidak hanya berhenti pada perangkat penerima, tetapi dapat dipantau melalui dashboard. Dalam implementasi lapangan, kemampuan ini memungkinkan sistem digunakan untuk pemantauan lingkungan secara jarak jauh, misalnya pada area pertanian, laboratorium, atau lokasi yang membutuhkan akuisisi data sensor secara berkala.

Tabel 8. Ringkasan data suhu dan kelembapan

Skenario	Node	Suhu min-maks	Rata suhu	RH min-maks	Rata RH
Skenario 1	Node 11	31,5-33,4	32,46	45-49	47,3
Skenario 2	Node 11	30,0-33,1	31,77	45-49	47,1
Skenario 2	Node 12	30,2-33,9	32,02	36-39	37,7
Skenario 3	Node 11	31,2-33,2	32,14	46-49	47,7
Skenario 3	Node 12	30,5-32,9	31,50	36-39	37,7
Skenario 3	Node 21	27,7-29,0	28,34	51-54	52,6
Skenario 3	Node 22	31,1-33,3	31,86	41-47	44,0

3.5. Pembahasan Umum

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa topologi tree dapat digunakan untuk mendukung transmisi data sensor secara bertingkat. Perangkat gate mampu menerima data dari node sensor dan meneruskannya ke gateway tanpa kehilangan paket. Kondisi ini penting untuk jaringan sensor yang memiliki node pada posisi jauh atau tidak ideal untuk komunikasi langsung dengan gateway.

Perbedaan nilai RSSI dan SNR antarjalur dipengaruhi oleh posisi perangkat, jarak, orientasi antena, serta kondisi lingkungan pengujian. Nilai RSSI jalur gate menuju gateway lebih rendah dibandingkan jalur node menuju gate, tetapi nilai SNR pada jalur tersebut lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan sinyal dan kualitas sinyal terhadap derau perlu dianalisis secara bersama-sama, bukan hanya berdasarkan salah satu parameter.

Kontribusi utama penelitian ini adalah penerapan topologi tree dengan metode two-level polling pada sistem transmisi sensor berbasis LoRa RFM95W dan IoT. Berbeda dari sistem komunikasi langsung node-gateway, rancangan ini menempatkan gate sebagai perangkat perantara sehingga komunikasi dapat dilakukan secara hierarkis. Pendekatan ini relevan untuk pengembangan WSN pada area yang memerlukan perluasan jangkauan dan pengiriman data sensor secara terstruktur.

Meskipun hasil PDR mencapai 100%, penelitian ini masih memiliki batasan. Pengujian dilakukan pada jumlah node terbatas dan lokasi yang tetap, sehingga belum menggambarkan kondisi lapangan yang sangat luas atau dinamis. Oleh karena itu, pengujian dengan variasi jarak, variasi penghalang, kondisi LoS dan NLoS, serta perbandingan dengan topologi star perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya.

3.6. Implikasi Rancangan Sistem

Rancangan sistem ini memiliki implikasi praktis pada pengembangan jaringan sensor yang membutuhkan komunikasi bertingkat. Pada topologi star, node sensor yang berada jauh dari gateway harus tetap mengirimkan data secara langsung. Kondisi tersebut dapat menjadi kendala ketika jarak meningkat, terdapat penghalang fisik, atau posisi antena tidak ideal. Dengan menempatkan gate sebagai perangkat perantara, jalur komunikasi dapat dipecah

menjadi beberapa segmen yang lebih pendek sehingga node sensor tidak harus selalu menjangkau gateway secara langsung.

Metode two-level polling juga memberikan keuntungan dari sisi pengaturan lalu lintas data. Pada sistem dengan banyak node, pengiriman data secara bersamaan dapat menimbulkan collision atau paket tidak terbaca oleh perangkat penerima. Dalam rancangan ini, gateway menjadi pengatur utama komunikasi tingkat atas, sedangkan gate menjadi pengatur komunikasi tingkat bawah. Pembagian peran tersebut membuat setiap perangkat memiliki waktu pengiriman yang lebih jelas dan mengurangi kemungkinan node mengirimkan data pada waktu yang sama.

Dari sisi implementasi IoT, penggunaan ESP32 sebagai gateway membuat sistem lebih sederhana karena perangkat tersebut telah memiliki konektivitas WiFi. Data dari jaringan LoRa dapat langsung diteruskan ke platform Thinger.io tanpa membutuhkan komputer tambahan sebagai server lokal. Hal ini mendukung penerapan sistem pada skala kecil hingga menengah, terutama untuk pemantauan lingkungan, pengukuran suhu dan kelembapan ruangan, pemantauan laboratorium, atau area lapangan yang membutuhkan pemantauan berkala.

3.7. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, jumlah node sensor yang digunakan masih terbatas pada empat node dengan dua gate. Jumlah ini cukup untuk membuktikan konsep topologi tree dan two-level polling, tetapi belum cukup untuk menunjukkan batas maksimal jumlah node yang dapat ditangani oleh satu gateway. Kedua, pengujian dilakukan pada lokasi dan jarak yang tetap, sehingga hasil RSSI dan SNR belum menggambarkan variasi kualitas sinyal pada berbagai jarak secara menyeluruh.

Ketiga, penelitian ini belum membandingkan secara langsung performa topologi tree dengan topologi star pada lokasi pengujian yang sama. Perbandingan tersebut penting untuk menunjukkan besarnya peningkatan kinerja yang diperoleh dari penggunaan perangkat gate. Keempat, parameter yang digunakan masih berfokus pada RSSI, SNR, PDR, dan packet loss. Parameter lain seperti delay, throughput, konsumsi daya, dan waktu respons polling dapat ditambahkan agar evaluasi sistem menjadi lebih lengkap.

Kelima, data sensor yang digunakan dalam pengujian masih terbatas pada suhu dan kelembapan menggunakan DHT22. Untuk aplikasi yang lebih luas, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor kelembapan tanah, intensitas cahaya, kualitas udara, tegangan, arus, atau parameter lingkungan lainnya. Dengan demikian, rancangan topologi tree dan two-level polling tidak hanya dapat digunakan pada sistem monitoring sederhana, tetapi juga dapat diperluas untuk aplikasi smart agriculture, pemantauan energi, dan sistem telemetri multi-lokasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem transmisi sensor berbasis LoRa RFM95W menggunakan topologi tree dan metode two-level polling. Sistem terdiri atas satu gateway, dua gate, dan empat node sensor yang mampu mengirimkan data secara bertingkat dari node sensor menuju gate, kemudian diteruskan ke gateway dan platform IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario memperoleh PDR sebesar 100% dan packet loss sebesar 0%, baik pada skenario komunikasi dasar, penambahan node sensor, maupun sistem penuh.

Nilai RSSI dan SNR bervariasi pada setiap jalur komunikasi, tetapi variasi tersebut tidak menyebabkan kegagalan penerimaan paket. Dengan demikian, topologi tree dan metode two-level polling dapat digunakan untuk mendukung komunikasi LoRa pada WSN secara bertingkat, stabil, dan terintegrasi dengan internet. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan jumlah node sensor, variasi jarak, variasi lingkungan LoS dan NLoS, serta perbandingan langsung dengan topologi star untuk memperoleh evaluasi kinerja yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Tondini, S. Tritini, M. Amatori, S. Croce, S. Seppi, and R. Monsorno, "LoRa-based Wireless Sensor Networks for Urban Scenarios Using an Open-source Approach," Sensors & Transducers, 2019.
[2] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," ICT Express, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, 2019, doi: 10.1016/j.icte.2017.12.005.
[3] A. Ramadhani, Z. Alaudin, F. J. Aridha, A. Rusdinar, and A. Z. Fuadi, "Data komunikasi secara real time menggunakan LoRa berbasis Internet of Things untuk pembuatan weather station," Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan, 2021, doi: 10.25124/jett.v8i1.4130.
[4] A. Azhar, S. M. Al Sasongko, and D. F. Budiman, "Implementasi purwarupa Wireless Sensor Network untuk monitoring dan penyiraman otomatis pada tanaman mint menggunakan ESP32 berbasis IoT-LoRa," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4678.
[5] D. F. Arrafi, "Pemanfaatan telemetri untuk sistem pengendali suhu pada kumbung jamur berbasis LoRa," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5927.
[6] D. Odo, "Rancang bangun sistem telemetri parameter multi lokasi panel surya berbasis komunikasi jarak jauh dan IoT," 2025.
[7] A. Aimi, F. Guillemin, S. Rovedakis, and S. Secci, "Packet Delivery Ratio Guarantees for Differentiated LoRaWAN Services," 2022.
[8] R. Liang, L. Zhao, and P. Wang, "Performance evaluations of LoRa wireless communication in building environments," Sensors, vol. 20, no. 14, pp. 1-19, 2020, doi: 10.3390/s20143828.
[9] G. Callebaut, G. Leenders, C. Buyle, S. Crul, and L. Van Der Perre, "LoRa physical layer evaluation for point-to-point links and coverage measurements in diverse environments," 2019.
[10] A. Maleki, H. H. Nguyen, E. Bedeer, and R. Barton, "A tutorial on chirp spread spectrum for LoRaWAN: basics and key advances," 2023.
[11] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for smart cities," IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
[12] A. L. Bustamante, M. A. Patricio, and J. M. Molina, "Thinger.io: An open source platform for deploying data fusion applications in IoT environments," Sensors, vol. 19, no. 5, 2019, doi: 10.3390/s19051044.
[13] B. Alorda-Ladaria, M. Pons, and E. Isern, "A self-configurable BUS network topology based on LoRa nodes for the transmission of data and alarm messages in power line-monitoring systems," Sensors, vol. 25, no. 5, 2025, doi: 10.3390/s25051484.
[14] Z. Yang, W. Huang, H. Ding, Z. Guan, and Z. Wang, "Performance analysis of a two-level polling control system based on LSTM and attention mechanism for wireless sensor networks," Mathematical Biosciences and Engineering, vol. 20, no. 11, pp. 20155-20187, 2023, doi: 10.3934/mbe.2023893.