

# IMPLEMENTASI ROUTING STATIC MULTI HOP PADA PERANGKAT LORA

Raditia Astarina<sup>1\*</sup>, L.A.Syamsul Irfan Akbar<sup>2</sup>, Djul Fikry Budiman<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup>Universitas Mataram; Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115; Telepon/Fax: (0370) 633007

Received: 1 Agustus 2024  
Accepted: 6 Agustus 2024  
Published: 7 Agustus 2024

## Keywords:

LoRa, Routing Multi-Hop, Kinerja PDR, Redundansi.

## Correspondent Email:

raditiaastarina240@gmail.com

**Abstrak.** Dalam era digital yang semakin berkembang, teknologi Low Power Wide Area Network (LPWAN) seperti LoRa menjadi solusi utama untuk komunikasi nirkabel jarak jauh berdaya rendah. Penelitian ini mengkaji implementasi routing statis multi-hop pada jaringan LoRa dan menganalisis pengaruh jarak antar node terhadap performa jaringan, seperti *Packet Delivery Ratio* (PDR) dan kekuatan sinyal (RSSI). Pengujian ini menggunakan metode uji coba yang telah dilakukan di jalur *bypass* yakni dengan menempatkan node 1 pada jarak 100 meter dari node 2 dan node 3 yang bertindak sebagai node perantara juga berada pada jarak 100 dari node 4 yang berfungsi sebagai penerima akhir. Jarak antar node kemudian diperpanjang dari 100 meter hingga 500 meter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa peningkatan jarak antar node dari 100 hingga 500 meter menurunkan kualitas komunikasi secara signifikan, dengan PDR turun dari 95% menjadi 45% dan *error rate* meningkat hingga 55%. Selain itu, jarak yang lebih jauh memengaruhi kekuatan sinyal dan keandalan transmisi data, diperburuk oleh interferensi dan hambatan fisik. Strategi mitigasi seperti routing multi-hop dan jalur alternatif terbukti efektif dalam meningkatkan jangkauan, stabilitas, dan kelangsungan komunikasi.

**Abstract.** In the rapidly advancing digital age, Low Power Wide Area Network (LPWAN) technologies, such as LoRa, are emerging as the primary solution for long-distance, low-power wireless communications. This study examines the implementation of multi-hop static routing on LoRa networks and analyzes the effect of distance between nodes on network performance, like the *Packet Delivery Ratio* (PDR) and *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). This test uses a trial method which was conducted on the *bypass* path, namely by placing node 1 at a distance of 100 meters from node 2 and node 3 which acts as an intermediary node is also at a distance of 100 from node 4 which functions as the final receiver. The distance between nodes is then extended from 100 meters to 500 meters. The measurement results show that increasing the distance between nodes from 100 to 500 meters significantly reduces communication quality, with PDR dropping from 95% to 45% and error rates increasing by up to 55%. In addition, longer distances affect signal strength and data transmission reliability, exacerbated by interference and physical obstacles. Mitigation strategies such as multi-hop routing and alternative paths have proven effective in increasing communication coverage, stability, and continuity.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang berkembang pesat, kebutuhan akan teknologi komunikasi nirkabel yang efisien dan andal terus meningkat. Jaringan area luas berdaya rendah (LPWAN) [1] merupakan teknologi yang baru dalam kemajuan teknologi komunikasi nirkabel. LoRa merupakan salah satu teknologi *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN) yang memiliki berbagai keunggulan dibandingkan teknologi nirkabel lainnya. LoRa memungkinkan komunikasi nirkabel jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap interferensi [2]. Konsumsi daya yang rendah memungkinkan perangkat LoRa untuk beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa sering mengganti baterai. Jangkauan komunikasinya yang luas, mencapai beberapa kilometer, sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan transmisi data jarak jauh [3].

LoRa adalah teknologi komunikasi nirkabel yang memanfaatkan spektrum radio. [4], biasanya di implementasikan dalam mode komunikasi satu-hop, di mana data dikirim langsung dari node asal ke node tujuan [5], yang bisa menjadi keterbatasan dalam lingkungan. Dalam lingkungan yang padat dengan banyak perangkat LoRa, interferensi sinyal bisa menjadi masalah, mengurangi keandalan dan kualitas komunikasi. Selain itu, performanya juga sangat dipengaruhi oleh lingkungan sekitar dengan jangkauan lebih efektif jika di area terbuka.

Beberapa penelitian menunjukkan potensi dan tantangan dalam implementasi routing multi-hop pada jaringan LoRa. Penelitian yang dilakukan oleh Agustini, Machdi dkk sangat bergantung pada penempatan *access point* di sepanjang jalur link, yang dapat mengurangi keandalan jaringan dan meningkatkan overhead serta latensi, terutama dalam skala jaringan yang lebih besar [6]. Sementara itu, penelitian lain yang dilakukan oleh Huda dkk menunjukkan bahwa routing statis meskipun sederhana, memiliki keterbatasan dalam adaptabilitas terhadap perubahan topologi dan menurunnya kinerja seiring bertambahnya jumlah node yang dilewati, tanpa adanya solusi untuk kegagalan jalur [7]. Selanjutnya pada penelitian lain yang dilakukan oleh Lutfi dkk menunjukkan bahwa routing statis pada jaringan kecil dengan LoRa

dan *websocket* efektif tetapi mengalami penurunan kinerja dengan bertambahnya hop. Kekurangan penelitian ini meliputi keterbatasan pada jaringan kecil, kurangnya penanganan kegagalan [8].

Berdasarkan permasalahan tersebut, untuk mengatasi keterbatasan dalam komunikasi pada perangkat LoRa, implementasi routing multi-hop menjadi solusi efektif. Dengan routing multi-hop, data dapat dikirim melalui beberapa node perantara sebelum mencapai tujuan akhir, sehingga memperluas jangkauan komunikasi dan meningkatkan keandalan transmisi. Penelitian ini menggunakan jenis perutean secara statis, di mana jalur komunikasi ditentukan secara manual dan tetap, tanpa memerlukan *overhead* dari protokol routing dinamis. Selain itu, penelitian ini menganalisis pengaruh jarak antar node terhadap performa jaringan dengan fokus pada *Packet Delivery Ratio* (PDR), pengaruh jarak antar node. PDR mengukur rasio antara jumlah paket yang berhasil diterima dan jumlah paket yang dikirim, yang menjadi indikator utama keandalan komunikasi, pengukuran pengaruh jarak antar node mengukur apakah jarak yang sudah ditentukan berpengaruh pada kinerja pengiriman.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Routing Statis

Routing adalah proses pengiriman item dari satu titik ke tujuan lain. Contoh item yang bisa melalui proses routing meliputi surat, panggilan telepon, dan data. Dalam konteks jaringan, perangkat yang digunakan untuk mengatur dan mengarahkan lalu lintas data disebut router. Routing statis adalah metode routing di mana informasi tentang jaringan tujuan dikonfigurasi secara manual oleh administrator atau pengelola jaringan [9]. Secara esensial, routing statis melibatkan penetapan jalur tetap untuk mentransmisikan data dari satu jaringan ke jaringan lain tanpa melibatkan protokol routing dinamis.

### 2.2 Long Range (LoRa)

LoRaWAN adalah protokol yang dikembangkan oleh LoRa Alliance dengan konsep protokol berupa Low Power Wide Area Network (LP-WAN), sedangkan LoRa adalah lapisan physical. LoRaWAN adalah lapisan

media access protocol (MAC) yang dibangun diatas lapisan physical LoRa [10]. *Long Range* (LoRa) adalah teknik modulasi spektrum terbesar yang dikembangkan oleh Semtech. Ini adalah turunan dari *Chirp Spread Spectrum* (CSS) dengan *Forward Error Correction* (FEC) terintegrasi [11]. LoRa *Physical Layer Protocol* bekerja pada frekuensi tergantung pada regulasi masing-masing negara. Frekuensi radio yang dialokasikan terdiri dari EU 433 (433.05-434.79 MHz) dan EU 863-870 (863-870/873 MHz) di Eropa; AU915-928/AS923-1 (915-928 MHz) di Australia; US 902-928 (902-928 MHz) di Amerika Utara; DALAM 865-867 (865-867 MHz) di India; AU 915-928/AS 923-1 dan EU433 Asia Tenggara dan 2.4GHz di seluruh dunia [12]. Di Indonesia sendiri regulasi diatur oleh pihak Kominfo dengan mengikuti standar frekuensi LoRa yang ditetapkan oleh LoRa *Alliance* untuk wilayah Asia yaitu frekuensi 923-925 MHz (AS923).

### 2.3 LoRa SX1276

Transceiver SX1276 adalah komponen kunci dalam teknologi LoRa yang dirancang untuk komunikasi nirkabel jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. *Transceiver* ini terdiri dari dua lapisan utama yaitu lapisan fisik yang menggunakan teknik modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS) dan lapisan protokol MAC (LoRa). Teknologi ini sangat cocok untuk perangkat yang mengandalkan sumber daya baterai karena efisiensi daya yang tinggi. Pengembangan lapisan fisik oleh Semtech memungkinkan perangkat LoRa untuk beroperasi pada jarak yang jauh dengan daya yang minim dan *throughput* yang moderat. Selain itu, *Transceiver* SX1276 menyediakan media kontrol akses yang mendukung komunikasi antara banyak perangkat dan gateway. Komunikasi antara node LoRa dan gateway dapat diatur berdasarkan frekuensi dan data rate yang dipilih, yang mempengaruhi jarak dan durasi transmisi data [13].

### 2.4 Parameter LoRa

Terdapat beberapa parameter konfigurasi LoRa yaitu *bandwidth*, frekuensi, *spreading factor*, *coding rate*, serta RSSI.

#### 2.4.1 Bandwidth

*Bandwidth* (BW) merupakan lebar dari frekuensi yang dipilih dan digunakan dalam pita transmisi. Transmisi data yang dikirim sebagai *chip rate* per detik sama dengan *bandwidth*. Besarnya *bandwidth* diatur sebesar 125 kHz, 250 kHz, dan 500 kHz [14].

#### 2.4.2 Frekuensi

Frekuensi pembawa adalah frekuensi sentral yang digunakan pada pita transmisi dengan *range* 860 – 1020 MHz pada pita *Industrial, Scientific, dan Medical* (ISM) [15]. Frekuensi pembawa bergantung pada frekuensi *regional local* di Indonesia sendiri regulasi frekuensi yang dipakai pada rentan frekuensi 923 – 925 MHz.

#### 2.4.3 Spreading factor

SF adalah rasio simbol *rate* dan *chip rate*. *Chip rate* adalah perkalian *bit rate* dan banyaknya *chip* yang ada pada symbol adalah  $2^{SF}$  sedangkan memvariasikan nilai SF dapat menghindari transmisi bersamaan dan tidak menyebabkan benturan paket karena setiap paket bersifat *orthogonal* satu sama lain [16].

#### 2.4.4 Coding rate

Merupakan jumlah bit yang memuat data atau informasi yang akan ditransmisikan disebut dengan *coding rate*. *Coding rate* ini dapat diatur dalam rentang nilai seperti 4/5, 4/6, 4/7, hingga 4/8. Pengaturan *coding rate* ini mempengaruhi jumlah bit yang digunakan untuk redundansi, yang berfungsi sebagai koreksi kesalahan untuk memperbaiki data yang mungkin mengalami gangguan atau kesalahan selama proses transmisi [17].

#### 2.4.5 RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)

RSSI singkatan dari *Received Signal Strength Indicator* merupakan parameter yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima dari seluruh sinyal pada band frekuensi saluran yang digunakan. Nilai RSSI semakin dekat dengan 0, maka sinyal yang dihasilkan semakin baik. Nilai RSSI dinyatakan dalam dBm dan merupakan nilai negatif, nilai minimum RSSI adalah -120 dBm [18]. Pada Tabel 1 disajikan standar RSSI yang menjadi acuan untuk

mengukur kekuatan sinyal dalam berbagai kondisi.

Tabel 1. Standar RSSI

Kategori	RSSI (dBm)
Sangat Bagus	>-70 dBm
Bagus	-70 dBm s/d -85 dBm
Sedang	-86 dBm s/d -100 dBm
Jelek	<-100 dBm

## 2.5 NodeMCU ESP 32

NodeMCU adalah salah satu perangkat open source yang dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan *firmware*. NodeMCU memiliki *board* berukuran sangat kecil yaitu dengan panjang hanya 4,83 cm dan lebar 2,54 cm serta dengan berat 7 gram. Selain itu, NodeMCU memiliki harga yang relatif terjangkau. NodeMCU ESP32 merupakan sistem yang memiliki daya rendah [19] yang mendukung konektivitas Wi-Fi sehingga memungkinkan pengembangan aplikasi berbasis IoT. ESP32 dilengkapi dengan 48 pin, termasuk 18 pin ADC (12-bit), empat unit SPI, dan dua unit I2C [20].

## 2.6 Arduino IDE

Arduino diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki *basic* bahasa pemrograman sama sekali karena menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah melalui *library*. *Processing* merupakan penggabungan antara bahasa C++ dan Java. *Software* Arduino ini dapat di install di berbagai *operating system* (OS) seperti: LINUX, Mac OS, Windows [20]. IDE sendiri merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment* yang merupakan sebuah perangkat lunak untuk melakukan pemrograman pada board Arduino [21]. IC mikrokontroler Arduino dilengkapi dengan program yang disebut *bootloader* sebelum dijual. Program ini menghubungkan mikrokontroler dengan compiler Arduino [22].

## 2.7 MAC Address

MAC Address (*Media Access Control Address*) merupakan sebuah Alamat jaringan yang diimplementasikan dalam tujuh lapisan OSI, yang merepresentasikan sebuah node tertentu dalam jaringan. MAC Address memiliki Panjang 48-bit (6 byte) yang mengidentifikasi sebuah komputer, interface dalam sebuah router, atau node lainnya dalam jaringan [23]. MAC Address

memiliki beberapa fungsi diantaranya mengizinkan perangkat-perangkat dalam jaringan agar dapat berkomunikasi antara satu dengan yang lainnya, mampu menyaring akses ke dalam sebuah komputer menggunakan daftar perijinan yang dibuatkan berdasarkan MAC Address, membatasi akses berdasarkan MAC Address lists yang tersimpan dan didistribusikan dalam hamper setiap jenis *router*, serta memberikan kontrol terhadap alat apa saja yang bisa terkoneksi dengan *router* [24].

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode uji coba untuk mengukur kinerja jaringan LoRa di lingkungan perkotaan. Pengujian dilakukan dengan *testbed* yang terdiri dari empat node, yang masing-masing dilengkapi dengan perangkat LoRa SX1276 sebagai pemancar dan penerima radio. Setiap node terhubung ke antena omnidireksional dengan gain 3 dBi untuk memastikan transmisi dan penerimaan sinyal berjalan optimal. Selain itu, perangkat lunak berbasis perpustakaan LoRa digunakan untuk mengelola komunikasi antar node, memungkinkan analisis mendalam terhadap performa jaringan, termasuk dalam hal *Packet Delivery Ratio* (PDR). Dalam penelitian ini, pengiriman data antar node menggunakan alamat perangkat keras (MAC Address) untuk menentukan jalur yang tepat ke node tujuan, memastikan data diteruskan sesuai rute yang telah ditentukan.

Agar kedua sisi pengirim dan penerima dapat berkomunikasi dengan baik, maka perlu dilakukan penyesuaian kesesuaian parameter uji pada sisi pengirim dan penerima. Pengaturan parameter yang ditentukan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Pengaturan Parameter

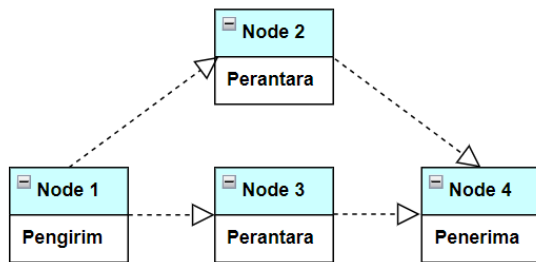
Parameter	Nilai
Frekuensi	923MHz
<i>Bandwidth</i>	125kHz
<i>Coding Rate</i>	4/8
<i>Spreading Faktor</i>	8

Berdasarkan tabel 2 diatas dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah frekuensi 923MHz, *bandwidth* 125kHz, *coding rate* 4/8, dan *spreading factor* 8. Frekuensi 923MHz yang mendukung jangkauan transmisi

dan penetrasi sinyal yang efektif. *bandwidth* 125kHz memberikan keseimbangan antara kecepatan data dan kestabilan sinyal, memastikan performa yang baik di lingkungan perkotaan. *Coding rate* 4/8 meningkatkan ketahanan terhadap gangguan dan kesalahan transmisi. Sementara itu, *spreading* faktor 8 menawarkan kompromi optimal antara jangkauan sinyal dan kecepatan transmisi data. Kombinasi parameter ini dirancang untuk memaksimalkan efisiensi dan kinerja jaringan LoRa, mengatasi tantangan yang mungkin timbul dari variasi sinyal dan gangguan lingkungan.

### 3.1. Desain Topology Routing Static Multi-Hop

Penerapan topologi routing statis multi-hop pada perangkat LoRa memberikan kerangka kerja yang efisien untuk mengelola komunikasi antar perangkat dalam jaringan. Dalam hal ini, setiap perangkat LoRa berperan sebagai pengirim dan penerima data, dengan routing statis multi-hop memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi melalui node-node perantara. Pendekatan ini memfasilitasi pengiriman data yang efektif dan dapat diandalkan di dalam lingkungan yang sering kali memiliki keterbatasan daya dan jangkauan. Dengan menggunakan topologi ini, dapat dioptimalkan untuk mendukung aplikasi yang memerlukan pertukaran data yang cepat dan tepat antar perangkat yang terhubung.



Gambar 3. Desain Topologi Routing Statis

Adapun fungsi dari masing-masing node pada topologi routing statis adalah sebagai berikut:

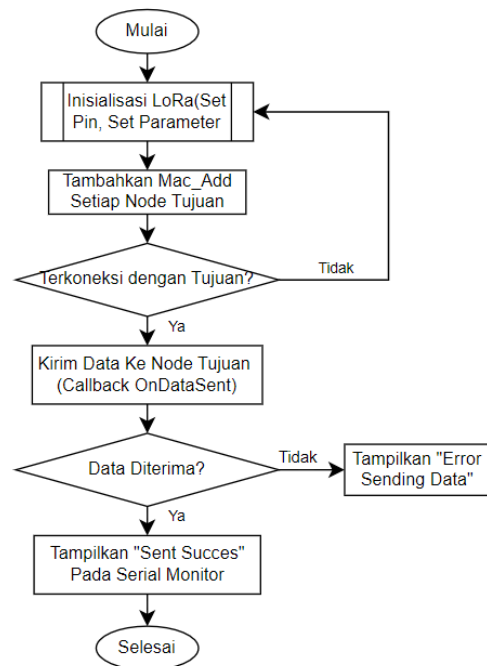
1. Node 1 atau node pengirim melakukan:
  - a. mengambil data berupa teks kemudian mengirim data teks tersebut ke node selanjutnya.
  - b. melampirkan data MAC Address tujuan dan MAC Address tetangga

- c. node 1 mengecek koneksi (peer) ke node 2 atau node tetangga
  - d. data dikirim ke node selanjutnya (node 2)
2. Node 2 dan node 3 sebagai node perantara melakukan:
  - a. Menerima data teks dari node sebelumnya
  - b. kemudian di cek MAC Address sumber dan MAC Address tujuan
  - c. meneruskan data ke node tujuan
3. Node Tujuan atau Node Akhir
  - a. mengecek apakah MAC Address tujuan sama dengan MAC Address dirinya maka data diterima.
  - b. Jika sama maka data diterima.

### 3.2 Perancangan Diagram Alir Sistem

#### 3.2.1 Flowchart Node Pengirim

Berikut adalah gambar 4 yang menunjukkan diagram alur pada node pengirim.



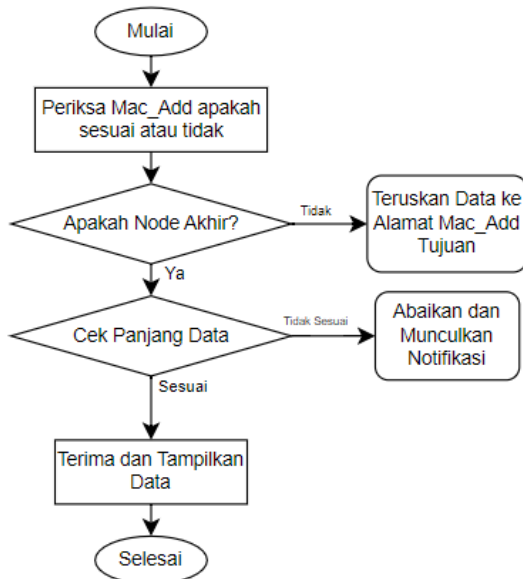
Gambar 4. Flowchart Node Pengirim

Gambar 4 menunjukkan diagram alir pada node pengirim menggambarkan langkah-langkah yang dilakukan yaitu pertama, program melakukan inisialisasi pada pin perangkat keras dan pemanggilan *library* yang diperlukan. Selanjutnya, program memeriksa koneksi dengan node-node tetangga berdasarkan alamat perangkat yang telah dimasukkan. Setelah koneksi berhasil, node pengirim akan

mengirimkan data ke setiap node tetangga yang terdaftar.

### 3.2.2 Flowchart Node Tetangga

Berikut adalah gambar 4 yang menunjukkan diagram alur pada node tetangga.



Gambar 5. Flowchart Node Tetangga

Gambar 5 ini menunjukkan diagram alir program pada node tetangga. Pada node penerima, program pertama-tama memeriksa kesesuaian panjang data yang diterima. Selanjutnya, program menentukan apakah node penerima merupakan node akhir dalam jalur komunikasi. Jika node penerima adalah node akhir, data akan disimpan di node tersebut. Namun, jika node penerima bukan merupakan node akhir, data akan diteruskan ke node berikutnya dalam jalur komunikasi. Proses ini memastikan bahwa data dapat disampaikan dengan benar melalui jaringan multi-hop hingga mencapai tujuan akhir.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan sebanyak lima kali dengan jarak yang bervariasi mulai dari jarak 100 meter, 200 meter, 300 meter, 400 meter, dan 500 meter. Setiap pengambilan data bertujuan untuk mengevaluasi rasio keberhasilan pengiriman data yang dipengaruhi oleh jarak antar node. Dengan melakukan pengujian pada jarak yang berbeda, diharapkan dapat diperoleh informasi yang jelas mengenai bagaimana jarak memengaruhi kinerja jaringan

dalam hal rasio keberhasilan pengiriman. Data yang terkumpul akan dianalisis untuk menentukan dampak jarak terhadap efektivitas dan keandalan sistem komunikasi LoRa.



Gambar 6. Lokasi Pengujian

## 4.1 Keberhasilan Redundansi

### 4.1.1 Jalur routing keberhasilan redundansi

Tabel jalur komunikasi yang disajikan pada Tabel 3. dibawah menunjukkan strategi sistem jaringan LoRa untuk mengatasi kegagalan node dengan menggunakan jalur alternatif yang memastikan pengiriman data tetap berlangsung meskipun ada gangguan. Untuk Node 1, jika Node 3 mati, data akan dialihkan melalui Node 2 langsung ke Node 4, sementara untuk Node 3, jika node tersebut mati, data dikirim melalui Node 2 ke Node 4. Begitu juga jika Node 2 mati, data akan diteruskan melalui Node 3 langsung ke Node 4. Strategi ini menyoroti keandalan dan efisiensi sistem yang dirancang dengan redundansi jalur untuk menjaga kontinuitas komunikasi dan meminimalkan dampak kegagalan node pada proses pengiriman data.

Tabel 3. Jalur routing

Pengirim	Node		Jalur Node		Keterangan
	Tujuan	Mati	Normal	Alternatif	
1	4	2	2 dan 3 -> node 4	Node 2 -> node 4	Node 3 mati, jalur dialihkan melalui node 2 langsung ke node 4
2	4	3	2 dan 3 -> node 4	Node 3 -> node 4	Node 2 mati, jalur dialihkan melalui node 3 langsung ke node 4

### 4.1.2. Pengujian Keberhasilan Redundansi

Berikut merupakan tabel hasil pengujian keberhasilan redundansi yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 pengujian keberhasilan redundansi

Pengirim	Node		Jalur alternatif	Data		Keberhasilan redundansi
	Tujuan	Mati		Dikirim	Diterima	
1	4	2	3	20	19	95%
1	4	3	2	20	19	95%

Berdasarkan tabel 4 pengujian keberhasilan redundansi, terdapat dua skenario yang dianalisis untuk menilai efektivitas jalur alternatif dalam menjaga komunikasi antara node 1 sebagai pengirim dan node 4 sebagai tujuan ketika salah satu node perantara mengalami kegagalan. Pada skenario pertama, node 3 mengalami kegagalan atau mati, dan jalur alternatif melalui node 2 digunakan untuk mengirim data ke node 4. Dari 20 paket data yang dikirim, 19 paket berhasil diterima, menghasilkan tingkat keberhasilan redundansi sebesar 95%. Pada skenario kedua, ketika node 2 mengalami kegagalan dan jalur alternatif dialihkan melalui node 3 digunakan, hasil yang sama dicapai dengan tingkat keberhasilan redundansi sebesar 95%. Analisis ini menunjukkan bahwa routing multi-hop dengan jalur alternatif efektif dalam mempertahankan komunikasi yang stabil meskipun ada kegagalan pada node perantara. Meskipun terdapat sedikit kehilangan paket, yang mungkin disebabkan oleh gangguan atau peningkatan beban pada node alternatif, sistem secara keseluruhan menunjukkan ketahanan yang baik dan kemampuan untuk menjaga keandalan komunikasi dalam jaringan LoRa.

#### 4.2 Pengaruh jarak antar node dan kinerja PDR

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan hasil perhitungan pengaruh jarak antar node dan kinerja PDR dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Pengaruh jarak antar node dan kinerja PDR

Jarak	Jumlah paket terkirim	Jumlah paket diterima	PDR %	RSSI (dBm)	Error rate (%)
100	20	19	95%	-98	5%
200	20	17	85%	-101	15%
300	20	16	80%	-103	20%
400	20	14	70%	-99	30%
500	20	9	45%	-100	55%

Berdasarkan data dalam tabel 5 terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya jarak antara node dalam jaringan LoRa, kualitas komunikasi menurun secara signifikan, yang ditunjukkan oleh penurunan *Packet Delivery Ratio* (PDR) dan peningkatan *Error Rate*. Pada jarak 100 meter, PDR mencapai 95% dengan RSSI -98 dBm, menunjukkan kualitas sinyal yang cukup baik dan hanya 5% paket yang hilang. Namun, pada jarak 200 meter, PDR turun menjadi 85% dan Error Rate meningkat menjadi 15%, dengan RSSI yang lebih lemah di -101 dBm, menandakan penurunan kekuatan sinyal. Pada jarak 300 meter, PDR turun lagi menjadi 80%, dengan RSSI -103 dBm, dan Error Rate meningkat menjadi 20%. Pada jarak 400 meter, meskipun RSSI sedikit membaik menjadi -99 dBm, PDR tetap turun menjadi 70%, menunjukkan bahwa faktor lain seperti gangguan mungkin mempengaruhi kinerja. Penurunan paling drastis terjadi pada jarak 500 meter, di mana hanya 45% paket yang berhasil diterima, dengan RSSI -100 dBm dan *Error Rate* yang melonjak hingga 55%. Data ini menunjukkan bahwa jarak yang lebih jauh secara signifikan mempengaruhi kekuatan sinyal dan kinerja transmisi data dalam jaringan LoRa, yang mengharuskan adanya strategi mitigasi untuk menjaga stabilitas dan keandalan komunikasi.

Dari pembahasan ini, dapat disimpulkan bahwa jarak antar node secara signifikan mempengaruhi kualitas sinyal dan kinerja jaringan LoRa. Semakin jauh jarak antar node, semakin besar degradasi sinyal yang terjadi dan semakin sulit untuk mempertahankan keandalan komunikasi. Selain itu, faktor lingkungan seperti interferensi sinyal dan hambatan fisik, seperti bangunan atau vegetasi, juga berkontribusi pada penurunan kinerja jaringan. Penelitian ini menunjukkan bahwa baik jarak maupun faktor lingkungan harus diperhatikan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan LoRa.

#### 5. KESIMPULAN

- Keandalan jaringan dengan jalur alternatif yang diterapkan dalam sistem jaringan LoRa untuk mengatasi kegagalan node melalui jalur komunikasi alternatif terbukti efektif dalam menjaga kontinuitas pengiriman data. Dengan adanya redundansi jalur, seperti pengalihan data melalui node lain saat salah

satu node mengalami kegagalan, sistem mampu meminimalkan dampak gangguan dan memastikan data tetap terkirim dengan efisiensi yang tinggi.

- b. Pengaruh jarak terhadap kinerja jaringan PDR yaitu semakin besar jarak antar node dalam jaringan LoRa, semakin signifikan penurunan kualitas komunikasi yang terjadi. Hal ini tercermin dari penurunan *Packet Delivery Ratio* (PDR) dan peningkatan *Error Rate* seiring bertambahnya jarak, yang disebabkan oleh degradasi sinyal serta potensi interferensi dan hambatan fisik. Untuk menjaga keandalan jaringan pada jarak yang lebih jauh, diperlukan strategi mitigasi yang mempertimbangkan penambahan node perantara atau penguatan sinyal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak L. Irfan dan Bapak Djul Fikry atas bimbingan dan arahan yang berharga. Serta penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas dorongan dan dukungan moral yang tak ternilai.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Chaudhari, B. S., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. *Future Internet*, 12(3), 46. <https://doi.org/10.3390/fi12030046>

[2] Misbahuddin, Ma. (2020). Kinerja Jaringan Berbasis Backproagation dan LVQ Sebagai Algoritme Fingerprint RSS LoRa untuk penentuan posisi pada ruang terbuka. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8, 121-126. Retrieved from <https://jtsiskom.undip.ac.id/article/view/13567>.

[3] Augustin, A., Yi, J. Z., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). LoRa: Long range low power networks for the Internet of Things. *Sensors*, 16(9), 1466. <https://doi.org/10.3390/s16091466>

[4] Wixted, A. J. et al., 2016. Evaluation of LoRa and LoRaWAN for Wireless Sensor Networks. *Orlando: IEEE SENSORS*, pp. 1-3.

[5] Rodiah Machdi Agustini, "Analisa Multihop Routing Pada Wireless Sensor Network

Digital," Rumah. Jilid 21, No. 1, 2020. DOI: 10.33751/Teknik.v21i1.2620

[6] Lutfi, M., Primantara, T. H., & Pramananda, R., (2021). "Implementasi Routing Statis menggunakan Media Komunikasi LoRa dan Websocket untuk Pengiriman Data dari Sensor ke Cloud pada IoT". *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 5, hlm.5339-5348.

[7] Mohamad Lutfi, dkk. (2020). "Implementasi Routing Statis Pada Wireless Sensor Network Menggunakan Modul Komunikasi LoRa". *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 4, No.8, Agustus 2020, hlm.2705-2712.

[8] Lundell, D., Hedberg, A., Nyberg, C. & Fitzgerald, E., 2018. A Routing Protocol for LoRa Mesh Networks. *2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks"*.

[9] Ihsan, F., 2017. *Pengertian Routing Static dan Routing Dynamic*. [Online] Available at: <https://microcyber2.com/pengertianrouting-static-dan-routing-dynamic/> [Diakses 25 maret 2019].

[10] Ali, A. H., Chisab, R. F., & Mnati, M. J. (2019). A smart monitoring and controlling for agricultural pumps using LoRa IOT technology. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(1), 286-292.

[11] Bor, M., Roedig, U., Voigt, T., & Alonso, J. M. (2016). *Do LoRa low-power wide-area networks scale?* Lancaster University. Diambil dari <https://doi.org/10.1145/2988287.2989163>.

[12] R. Felch, "Introducing LoRa (Long Range) Wireless Technology," [blackhillsinfosec.com](http://blackhillsinfosec.com), Dec. 8, 2021. [Online]. Available: <https://www.blackhillsinfosec.com/introducing-lora-long-range-wireless-technology-part-1> [Accessed: Oct. 25, 2023].

[13] Noraldo Advendri, dkk. (2022). "Pemantauan Lokasi Berbasis GPS Menggunakan Transceiver SX1276 Untuk Keselamatan Pada KapalNelayan". *Journal Of Electrical Engineering, Energy, And Information Technology*, Vol. 10, No. 2, hlm.2-3

[14] M. Cattani, C. A. Boano and . K. Römer, "An Experimental Evaluation of the Reliability of LoRa Long-Range Low-Power Wireless Communication," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2017.

[15] M. H. Habaebi, L. J. Chowdhury, M. R. Islam and A. B. Zainal, "Effects of shadowing on LoRa LPWAN radio links," *J. Electr. Comput. Eng*, vol. 7, 2017.

[16] L. A. T. committee, "LoRaWAN™ 1.0.2 Regional Parameters," 2017.



- [17] Fajar, M. S., Imansyah, F., Marpaung,, J., Studi, P., Elektro, T., & Teknik, J. (n.d). *analisis Kinerja Modul Transceiver SX1278 Pada Sistem Monitoring Dengan Model Jaringan Star*.
- [18] ETSI, “ETSI TR 101 329-7, “*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) Release 3;*, vol. 2.1.1, 2022.
- [19] A. Sanaris, and I. Suharjo, “Protipe Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan nodeMCU ESP32 dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things,” *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 6, no. 3, pp. 17–24, 2020.
- [20] M. F. Soambaton, A. H. Al-Azhar, and Djuniadi, “Monitoring Kolam Ikan Nila Berbasis IoT dengan Sensor Amoniak, Suhu, Ketinggian, dan PH,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 919-926, 2024.
- [21] JauhariArifin, L. N. Z. H. (2016). *Jurnal Arduino Ide. Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. 1858(2680), 89-98*
- [22] Tambing, Y., Muhallim, M., & Suppa, R. (2023). Prototype sistem kontrol lampu berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, 12(1), 1-15. <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/3702/1596>
- [23] G. Hergika, Siswanto, and Sutarti, “Perancangan Internet of Things (IoT) Sebagai Kontrol Infrastruktur Dan Peralatan Toll Pada Pt. Astra Infratoll Road,” *J. PROSISKO*, vol. 8, no. 2, pp. 86–98, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.lppmunsera.org/index.php/PROSISKO/article/view/3862>
- [24] Nasirudin, J., & Setyadi, H. A. (2015). Intranet sistem informasi akademikSTMIK AUB Surakarta berbasis MAC address untuk auto login. *Journal Speed – Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi*, 7(2). <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2415169&val=23056&title=INTRANET%20SISTEM%20INFORMASI%20AKADEMIK%20STMIK%20AUB%20SURAKARTA%20BERBASIS%20MAC%20ADDRESS%20UNTUK%20AUTO%20LOGIN>