



## Implementasi Node Bridge Untuk Meningkatkan Komunikasi Multi-Node Modul NRF24L01 Pada NLOS

Abdi Purwanto<sup>1\*</sup>, Redi Ratiandi Yacoub<sup>2</sup>, Neilcy Tjahjamoonsih<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup>Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

<sup>1\*</sup>Abdipurwanto711@student.untan.ac.id, <sup>2</sup>Rediyacoub@ee.untan.ac.id, <sup>3</sup>Neilcy.moonsih@ee.untan.ac.id

**Abstrak-**Komunikasi multi-node merupakan aspek penting dalam pengembangan sistem nirkabel, terutama dalam konteks komunikasi non-line of sight. Dalam studi ini, kami mengeksplorasi implementasi komunikasi multi-node dengan node bridge untuk meningkatkan jarak dan mengurangi kehilangan paket pada modul transceiver NRF24L01. Tujuan dari penulisan naskah ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan node bridge dalam meningkatkan kualitas komunikasi multi-node pada modul NRF24L01 dalam kondisi non-line of sight. Studi ini dilakukan melalui serangkaian pengujian komunikasi multi-node dengan konfigurasi tertentu, termasuk penggunaan daya maksimum, bit rate 250kbps, dan antena 5dBi. Pengujian dilakukan pada jarak yang berbeda dengan dan tanpa penggunaan node bridge untuk membandingkan kinerja komunikasi. Temuan kami menunjukkan bahwa konfigurasi dengan tiga node client dan modul NRF24L01 dilengkapi dengan antena 5dBi mampu mencapai jarak terjauh hingga 125 m. Pada kondisi non-line of sight, tingkat kehilangan paket pada jarak 25-75 m memiliki kualitas komunikasi yang sangat baik, dengan nilai packet loss berkisar antara 0-6%. Namun, pada jarak 100 m, persentase packet loss melebihi ambang batas (15%). Penggunaan node bridge berhasil mengurangi signifikan tingkat kehilangan paket, menurunkan persentase packet loss pada node client C1, C2, dan C3 menjadi 6,00%, 6,67%, dan 6,33% secara berturut-turut. Dengan demikian, pengimplementasian node bridge terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas komunikasi pada modul NRF24L01 dalam kondisi non-line of sight.

**Kata Kunci:** komunikasi nirkabel, NRF24L01, node bridge, multi-node, Non-Line of Sight, packet loss.

**Abstract-**Multi-node communication is an important aspect in wireless system development, especially in the context of non-line of sight communications. In this study, we explore the implementation of multi-node communication with bridge nodes to increase distance and reduce packet loss in the NRF24L01 transceiver module. The aim of writing this manuscript is to evaluate the effectiveness of using bridge nodes in improving the quality of multi-node communications on the NRF24L01 module in non-line of sight conditions. This study was carried out through a series of multi-node communication tests with certain configurations, including maximum power usage, 250kbps bit rate, and 5dBi antenna. Tests were carried out at different distances with and without the use of bridge nodes to compare communication performance. Our findings show that a configuration with three client nodes and an NRF24L01 module equipped with a 5dBi antenna is capable of achieving the longest distance of up to 125 m. In non-line of sight conditions, the packet loss rate at a distance of 25-75 m has very good communication quality, with packet loss values ranging from 0-6%. However, at a distance of 100 m, the packet loss percentage exceeds the threshold (15%). The use of bridge nodes succeeded in significantly reducing the packet loss rate, reducing the percentage of packet loss at client nodes C1, C2, and C3 to 6.00%, 6.67%, and 6.33% respectively. Thus, implementing the bridge node has proven effective in improving the quality of communication on the NRF24L01 module in non-line of sight conditions.

**Keywords:** Wireless communications, NRF24L01, node bridge, multi-node, Non-Line of Sight, packet loss.

### 1. PENDAHULUAN

Komunikasi nirkabel telah menjadi salah satu bidang yang terus berkembang pesat dalam teknologi informasi dan komunikasi. Seiring dengan kemajuan teknologi, kebutuhan akan komunikasi yang efisien dan handal tanpa batasan jarak semakin meningkat. Teknologi Radio Frekuensi (RF) menjadi salah satu solusi yang penting dalam memenuhi kebutuhan ini. Salah satu produk yang memanfaatkan teknologi radio frekuensi adalah modul NRF24L01, yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz [1], [2].

Modul ini beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz menjadi pilihan dalam berbagai aplikasi komunikasi nirkabel, terutama dalam lingkup jaringan sensor nirkabel dan Internet of Things (IoT). Salah satu keunggulan modul NRF24L01 adalah kemampuannya dalam mengimplementasikan komunikasi multi-node. Modul ini mampu





menghubungkan hingga enam pengirim ke satu penerima, menciptakan jaringan komunikasi yang fleksibel dan dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan aplikasi[3], [4].

Namun, seperti halnya teknologi lainnya, penggunaan NRF24L01 tidak terlepas dari tantangan, terutama dalam menghadapi kondisi non-line of sight (NLOS). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada kondisi NLOS, komunikasi point-to-point menggunakan modul NRF24L01 mengalami kehilangan paket (packet loss) di bawah 15% pada jarak 20 meter.[5] Begitu juga, penggunaan sistem multi-node dengan jumlah 9 node dalam lingkungan bertembok dan berpepohonan menghasilkan packet loss lebih dari 50% pada jarak yang sama, dengan node server hanya mampu berkomunikasi dengan kurang dari 3 modul[6]. Maka dari hasil penelitian ini, permasalahan utama yang perlu dipecahkan adalah bagaimana strategi meningkatkan kualitas komunikasi penggunaan modul NRF24L01 pada komunikasi multi-node, khususnya pada kondisi NLOS.

Untuk mengatasi permasalahan ini, peneliti mengusulkan penggunaan node bridge sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas komunikasi multi-node dengan NRF24L01. Diharapkan bahwa dengan mengimplementasikan node bridge, kualitas komunikasi dapat ditingkatkan khususnya dalam kemampuan mentransfer data sehingga mengurangi packet loss data.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kemampuan node bridge yang menjadi usulan dalam mengatasi permasalahan packet loss untuk meningkatkan kualitas komunikasi multi-node menggunakan modul NRF24L01 dalam kondisi NLOS. Serta mengevaluasi sejauh mana penggunaan node bridge dapat mengatasi tantangan yang terkait dengan kondisi NLOS. Penelitian ini akan fokus pada pengukuran persentase packet loss terhadap jarak yang seiring bertambah. Peneliti akan membandingkan kinerja NRF24L01 komunikasi multi node antara tanpa penggunaan node bridge dengan penggunaan node bridge pada kondisi NLOS. Data yang dikumpulkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga untuk meningkatkan efektivitas komunikasi nirkabel dalam situasi yang menantang seperti NLOS.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Kondisi NLOS

Tujuan dari pengujian kondisi Non-Line of Sight (NLOS) dalam penelitian ini adalah untuk mengevaluasi performa komunikasi *multi node* nirkabel menggunakan modul NRF24L01 di lingkungan yang melibatkan hambatan fisik antara *node server* dan *node client*. Dalam pengujian kondisi NLOS, peneliti menggunakan penghalang berupa kotak kardus sebagai representasi hambatan fisik antara *node server* dan *node client*[7]. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Eddy Triyono, dkk. yang mengeksplorasi redaman repeater pada berbagai jenis bahan seperti kardus, akrilik bening, putih gelap, PCB, dan aluminium, disimpulkan bahwa kardus menunjukkan redaman sinyal paling signifikan di antara bahan-bahan tersebut sebesar -61,11 dB[8]. Pengujian pada kondisi ini akan dilakukan dengan jarak kelipatan 25 m pada setiap percobaannya hingga nilai *packet loss* terjadi diatas nilai ambang batas.

### 2.2 Packet Loss

*Packet loss*, yaitu persentase paket yang hilang saat data ditransmisikan, dapat disebabkan oleh penurunan sinyal di media jaringan, kesalahan perangkat keras jaringan, atau radiasi dari lingkungan sekitarnya[9].

**Tabel 1.** Degradasi Packet Loss

Kategori Degradasi	Packet loss (PL) (%)
Sangat Bagus	$0 \geq PL > 3$
Bagus	$3 \geq PL > 15$
Buruk	$15 \geq PL > 25$
Sangat Buruk	$\geq 25$

Tabel 1. merupakan standar *Quality of Service* (QoS) yang di tetapkan oleh *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON). Tingkat *packet loss* antara 3% hingga 15% dianggap memiliki "kualitas yang bagus". Dalam hal ini peneliti menetapkan ambang batas pada pengujian tingkat *packet loss* sebesar 15%[10].



*Packet loss* akan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah data yang seharusnya diterima dengan jumlah data yang berhasil diterima oleh *node server*[11], [12]. Berikut ini rumus perhitungan persentase *packet loss*:

$$PL_{ij} = \frac{x-y}{x} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$PL_{ij}$  = Persentase *Packet loss node client* ke-*i* percobaan ke-*j*

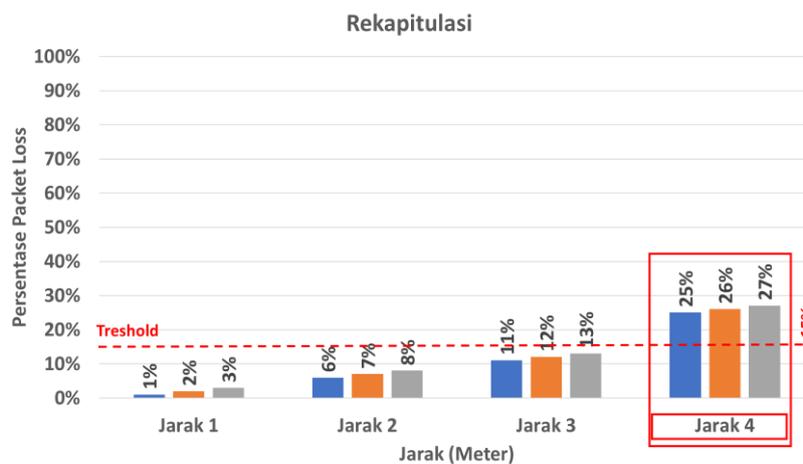
$x$  = Jumlah data yang dikirim

$y$  = jumlah data yang diterima

## 2.3 Tahap Pengujian

### 2.3.1 Pengujian Tingkat Packet Loss

Pada Tahap pengujian *packet loss* ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat *packet loss* pada komunikasi antara *node server* dan *node client* menggunakan modul NRF24L01, serta untuk mengidentifikasi jarak tertentu di mana *packet loss* melebihi ambang batas (15%). Proses ini akan dilakukan untuk setiap percobaan pada berbagai jarak yang telah ditentukan dan hasilnya akan dianalisis untuk memahami kinerja modul NRF24L01 dalam kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS)[13]. Proses yang akan dilakukan pada tahap ini Mulai dengan jarak terkecil antara node server dan node client. Setiap jarak akan diuji sebanyak 5 kali percobaan, setiap percobaan dilakukan selama 3 menit. Node client mengirim data setiap 3 detik, sehingga menghasilkan total 60 data dalam satu percobaan, jika diakumulasikan dari 5 percobaan untuk setiap jarak akan menghasilkan total 300 data. Hitung jumlah *packet loss* pada setiap percobaan dan total akumulasi dari 5 percobaan. Konversi jumlah *packet loss* menjadi persentase dari total data yang dikirim. Buat tabel dan grafik yang mencantumkan data percobaan dan persentase *packet loss* pada setiap jarak pengujian. Berikut ilustrasi pengolahan data pada Gambar 1.



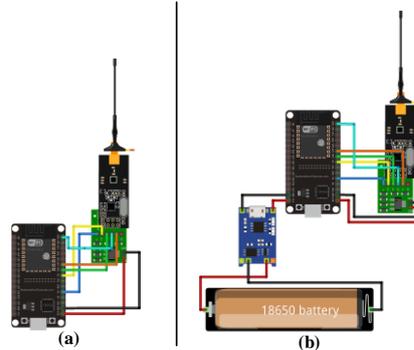
**Gambar 1.** Penentuan Ambang Batas

Evaluasi data untuk menentukan jarak di mana *packet loss* melebihi ambang batas (15%). Kemudian tentukan rentang jarak di mana performansi komunikasi NRF24L01 melebihi ambang batas. Jarak yang melebihi ambang batas akan digunakan sebagai sampel pada pengujian penggunaan node bridge pada tahap selanjutnya.

### 2.3.2 Pengujian Penggunaan Node Bridge

Tahap pengujian penggunaan *node bridge* bertujuan untuk menguji pengaruh penggunaan *node bridge* dalam meningkatkan kinerja komunikasi NRF24L01 pada jarak yang sebelumnya mengalami *packet loss* melebihi ambang batas. Pengujian dilakukan dengan pengujian yang sama seperti tahap sebelumnya yaitu dilakukan Lakukan pengujian sebanyak 5 kali, setiap percobaan selama 3 menit, dengan pengiriman data setiap 3 detik. Selanjutnya analisis dan evaluasi hasil percobaan penggunaan node bridge, kemudian bandingkan persentase *packet loss* dengan percobaan tahap sebelumnya.

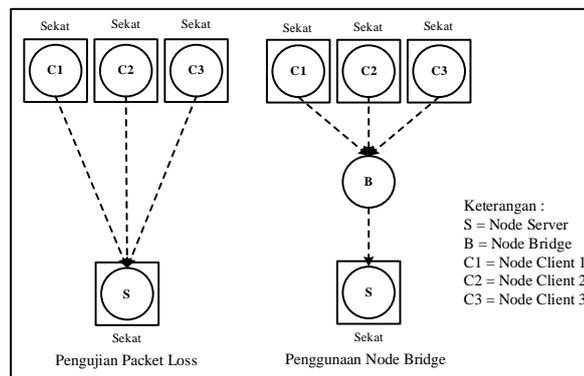
## 2.4 Desain Perangkat



**Gambar 2.** (a) Node Server (b) Node Client dan Node Bridge

*Node server* terdiri dari komponen ESP 32 dan NRF24L01 yang dilengkapi dengan antenna 5dBi. *Node server* ini akan dihubungkan dengan laptop menggunakan kabel *micro-USB* sekaligus menjadi *power supply* pada *node server*. Pada *node client* dan *node bridge* akan dilengkapi dengan satu buah baterai tipe 18650. Baterai ini akan dihubungkan dengan modul pengisian daya TP4056 melalui koneksi *micro-USB*. Konfigurasi sistem pada NRF24L01 mencakup penggunaan daya maksimum, bitrate 250 kbps, dan antenna eksternal 5dBi pada modul NRF24L01 untuk meningkatkan kualitas komunikasi multi-node[14].

## 2.5 Skenario Pengujian



**Gambar 3.** Skenario Pengujian

Topologi komunikasi yang akan dirancang adalah point-to-multi point, antara *node server* dan *node client*. Topologi ini dirancang untuk menghubungkan beberapa lokasi ke satu titik pusat tunggal, memungkinkan komunikasi efisien antara node-node yang tersebar dalam jangkauan yang luas[15].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengujian Tingkat *Packet loss*

Analisis hasil dari setiap jarak pengujian pada kondisi NLOS dilakukan untuk melihat jumlah dan persentase *packet loss* pada setiap jarak pengujian, serta menentukan jarak yang memiliki data *packet loss* yang melebihi ambang batas/threshold sebesar 15%. Berikut tabel rekapitulasi data dari pengujian yang dilakukan:

#### 3.1.1 Pengujian Jarak 25 m

**Tabel 2.** Data Pengujian Packet Loss Jarak 25 m

Percobaan	Data Dikirim	Packet Loss									
		C1		C2		C3					
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%				



1	60	2	3,33%	0	0,00%	2	3,33%
2	60	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
3	60	3	5,00%	1	1,67%	4	6,67%
4	60	1	1,67%	1	1,67%	1	1,67%
5	60	0	0,00%	1	1,67%	2	3,33%
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>6</b>	<b>2,00%</b>	<b>3</b>	<b>1,00%</b>	<b>9</b>	<b>3,00%</b>

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian jarak 25 m secara keseluruhan komunikasi C1, C2, dan C3 memiliki kualitas komunikasi rata-rata sangat bagus dengan masing-masing persentase packet loss sebesar 2,00%, 1,0%, dan 3,00%.

### 3.1.2 Pengujian Jarak 50 m

**Tabel 3.** Data Pengujian Packet Loss Jarak 50 m

Percobaan	Data Dikirim	Packet Loss					
		C1		C2		C3	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
1	60	2	3,33%	0	0,00%	2	3,33%
2	60	1	1,67%	0	0,00%	7	11,67%
3	60	6	10,00%	0	0,00%	2	3,33%
4	60	0	0,00%	0	0,00%	1	1,67%
5	60	3	5,00%	0	0,00%	2	3,33%
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>12</b>	<b>4,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>14</b>	<b>4,67%</b>

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian jarak 50 m pada jarak ini komunikasi pada C1 terjadi ketidakstabilan khususnya pada percobaan ke 3 yang mengalami packet loss sebesar 10%. Begitu pula yang terjadi pada komunikasi C3 pada percobaan ke 2 mengalami packet loss sebesar 11,67%. Sedangkan komunikasi pada C2 tidak mengalami packet loss sama sekali. Namun dalam hal ini secara keseluruhan komunikasi C1, C2, dan C3 memiliki kualitas komunikasi rata-rata sangat bagus.

### 3.1.3 Pengujian Jarak 75 m

**Tabel 4.** Data Pengujian Packet Loss Jarak 75 m

Percobaan	Data Dikirim	Packet Loss					
		C1		C2		C3	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
1	60	4	6,67%	2	3,33%	1	1,67%
2	60	2	3,33%	0	0,00%	9	15,00%
3	60	5	8,33%	1	1,67%	0	0,00%
4	60	1	1,67%	0	0,00%	0	0,00%
5	60	6	10,00%	0	0,00%	2	3,33%
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>18</b>	<b>6,00%</b>	<b>3</b>	<b>1,00%</b>	<b>12</b>	<b>4,00%</b>

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian jarak 75 m pada jarak ini terjadi ketidakstabilan yang dialami beberapa node client pada percobaan tertentu seperti C1 terjadi packet loss yang cukup tinggi pada percobaan ke-5 dan C2 terjadi packet loss sebesar 15% pada percobaan ke-2 berbeda dengan percobaan lainnya. Namun secara keseluruhan komunikasi C1, C2, dan C3 pada jarak 75 m ini memiliki kualitas komunikasi rata-rata sangat bagus.

### 3.1.4 Pengujian Jarak 100 m

**Tabel 5.** Data Pengujian Packet Loss Jarak 100 m

Percobaan	Data Dikirim	Packet Loss					
		C1		C2		C3	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
1	60	15	25,00%	19	31,67%	12	20,00%
2	60	14	23,33%	13	21,67%	11	18,33%
3	60	19	31,67%	17	28,33%	15	25,00%
4	60	17	28,33%	16	26,67%	14	23,33%



5	60	19	31,67%	24	40,00%	22	36,67%
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>84</b>	<b>28,00%</b>	<b>89</b>	<b>29,67%</b>	<b>74</b>	<b>24,67%</b>

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian jarak 100 m pada jarak ini terjadi peningkatan jumlah packet loss yang cukup tinggi di setiap komunikasi multi node yang terjadi. Pada C1 terjadi kehilangan data keseluruhan percobaan sebanyak 84 dari 300 data yang dikirim, begitu pun pada C2 mengalami kehilangan data sebanyak 89 dari 300 data, dan C3 mengalami kehilangan data sebanyak 74 dari 300 data.

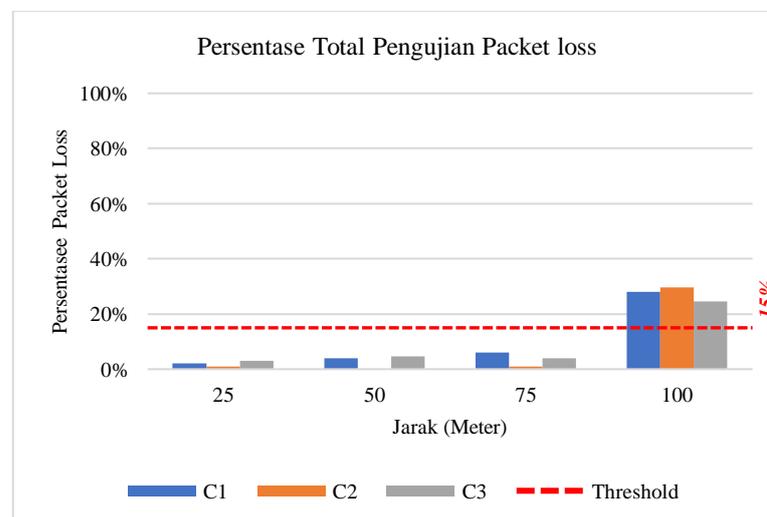
### 3.1.5 Identifikasi Ambang Batas

Hal yang dilakukan selanjutnya adalah mengidentifikasi jarak yang melebihi ambang batas 15% ini dilakukan untuk menjawab tantangan penggunaan *node bridge* tentang memperbaiki kualitas komunikasi terhadap jarak yang seiring bertambah jauh dapat mempengaruhi kualitas tingkat *packet loss*.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Data Pengujian Packet Loss

Jarak (Meter)	Data Dikirim	Packet Loss					
		C1		C2		C3	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
25	300	6	2,00%	3	1,00%	9	3,00%
50	300	12	4,00%	0	0,00%	14	4,67%
75	300	18	6,00%	3	1,00%	12	4,00%
100	300	84	28,00%	89	29,67%	74	24,67%

Tabel 6 merupakan data hasil keseluruhan pengujian, dari tabel tersebut menunjukkan bahwa pada jarak 25 meter, C1 memiliki persentase packet loss sebesar 2,00%, C2 memiliki 1,00%, dan C3 memiliki 3,00%. Pada jarak 50 meter, persentase packet loss untuk C1 adalah 4,00%, untuk C2 adalah 0,00%, dan untuk C3 adalah 4,67%. Ketika jaraknya mencapai 75 meter, persentase packet loss untuk C1 adalah 6,00%, untuk C2 adalah 1,00%, dan untuk C3 adalah 4,00%. Pada jarak 100 meter, persentase packet loss untuk C1, C2, dan C3 berturut-turut adalah 28,00%, 29,67%, dan 24,67%.



**Gambar 4.** Grafik Pengujian Packet Loss

Dari Gambar 4. dapat diidentifikasi kondisi yang mengalami packet loss diatas 15% adalah pada jarak 100 m. Dengan jarak 100 meter ini akan menjadi sampel untuk pengujian penggunaan *node bridge* pada tahap pengujian selanjutnya.

### 3.2 Pengujian Penggunaan Node Bridge

Berdasarkan hasil identifikasi dari pengujian tingkat packet loss yang dilakukan sebelumnya. Dalam pengujian ini, node server dan node client akan diletakkan dengan jarak sampel 100 meter, serta penggunaan *node bridge* yang diletakkan diantara node server dan node client.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Penggunaan Node Bridge Jarak 100 m

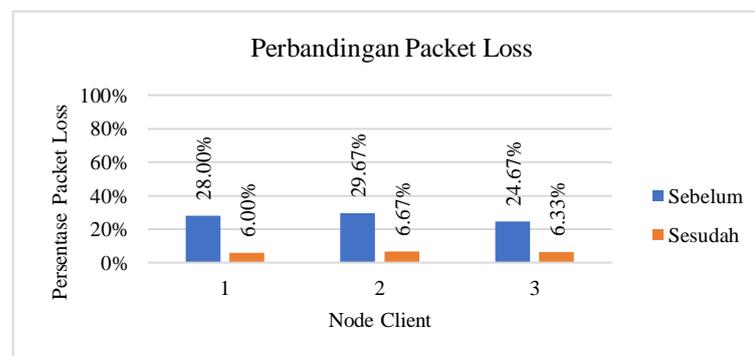
Percobaan	Packet loss					
	C1		C2		C3	
	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
1	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
2	5	8,33%	4	6,67%	4	6,67%
3	6	10,00%	7	11,67%	6	10,00%
4	4	6,67%	5	8,33%	6	10,00%
5	3	5,00%	4	6,67%	3	5,00%
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>6,00%</b>	<b>20</b>	<b>6,67%</b>	<b>19</b>	<b>6,33%</b>

Dari hasil percobaan yang tercatat dalam Tabel 6, dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat variasi dalam tingkat packet loss pada setiap percobaan. Pada percobaan pertama, tidak ada packet loss yang terjadi pada node C1, C2, dan C3. Namun, pada percobaan kedua, terjadi peningkatan kecil dalam packet loss, di mana C1, C2, dan C3 masing-masing mengalami sekitar 6-8% packet loss. Pada percobaan ketiga, terjadi peningkatan yang lebih signifikan dalam packet loss, dengan C1 mencapai 10%, C2 11,67%, dan C3 10%. Meskipun pada percobaan berikutnya terjadi fluktuasi dalam tingkat packet loss, secara keseluruhan akumulasi data menunjukkan bahwa setiap node mengalami packet loss dalam kisaran 6-7%. Dengan demikian, meskipun terjadi variasi, tingkat packet loss yang terjadi pada penggunaan node bridge ini tergolong bagus.

### 3.3 Hasil Perbandingan Penggunaan Node Bridge

**Tabel 7.** Perbandingan Penggunaan Node Bridge

Node Client	Penggunaan Node Bridge	
	Sebelum	Sesudah
C1	28,00%	6,00%
C2	29,67%	6,67%
C3	24,67%	6,33%


**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Penggunaan Node Bridge

Tabel 7 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan node bridge berhasil mengurangi nilai packet loss pada semua percobaan (C1, C2, dan C3). Sebelum menggunakan node bridge, persentase packet loss pada C1, C2, dan C3 adalah 28,00%, 29,67%, dan 24,67% secara berturut-turut. Setelah menggunakan node bridge, persentase packet loss tersebut turun menjadi 6,00%, 6,67%, dan 6,33%, menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas komunikasi. Hal ini menandakan bahwa penggunaan node bridge efektif dalam memperbaiki kualitas komunikasi multi-node pada modul transceiver NRF24L01.

## 4. KESIMPULAN

Selama pengujian terhadap tingkat packet loss pada kondisi non-line of sight dengan variasi jarak kelipatan 25 meter. Didapati hasil pada rentang jarak 25 hingga 75 m, nilai packet loss secara keseluruhan berada pada kisaran yang rendah, yakni antara 0-6%. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi pada jarak-jarak tersebut memiliki kualitas yang sangat bagus, dengan kemampuan untuk mentransmisikan data dengan akurat dan efisien.



Namun demikian, ketika node client C1, C2, dan C3 ditempatkan pada jarak 100 m, terjadi peningkatan yang signifikan dalam persentase packet loss, persentase packet loss yang melebihi ambang batas (15%). Node-node tersebut menunjukkan persentase packet loss masing-masing sebesar 28,00%, 29,67%, dan 24,67%, menggarisbawahi bahwa pada jarak ini kualitas komunikasi tergolong sangat buruk.

Dengan menerapkan node bridge di antara node server dan node client pada jarak yang sama, terlihat peningkatan yang signifikan dalam kualitas komunikasi. Persentase packet loss secara signifikan menurun menjadi 6,00%, 6,67%, dan 6,33% untuk masing-masing node client C1, C2, dan C3. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan node bridge dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kualitas komunikasi multi-node pada modul NRF24L01, khususnya dalam kondisi non-line of sight.

## REFERENSI

- [1] J. M. Parenreng, A. Wahid, Sanatang, dan A. Yusmalasari, *PENGANTAR JARINGAN KOMUNIKASI NIRKABE*. 2022.
- [2] A. Widyatmoko, S. Rizqika Akbar, dan R. Primananda, "Implementasi Wireless Sensor Network Dengan Menggunakan Protokol OLSR pada Arduino Pro Mini dan NRF24L01," *JPTIHK*, vol. 2, no. 11, hlm. 4750–4759, 2018, [Daring]. Tersedia pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [3] Nordic Semiconductor, *nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver, Preliminary Product Specification v1.0*. 2008.
- [4] A. Septiano dan T. Ghozali, "NRF24L01 SEBAGAI PEMANCAR/PENERIMA UNTUK WIRELESS SENSOR NETWORK," *Jurnal TEKNO*, vol. 17, no. 1, 2020.
- [5] I. Gusti Made Ngurah Desnanjaya dan M. Dwi Alfian, "PENGIRIMAN DATA NRF24L01+ DENGAN KONDISI LINE OF SIGHT DAN NON LINE OF SIGHT", [Daring]. Tersedia pada: <https://s.id/jurnalresistor>
- [6] R. Alfita, M. Ulum, M. Faris Kurniawan, dan H. Sukri, "Wireless Sensor Network Design Using Multihop Based on Arduino and NRF24L01+," *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [7] L. Suhery, "Rancang Bangun Infrastruktur Wireless Dengan Pendekatan Metode Line Of Sight," *Rang Teknik Journal*, vol. 1, no. 2, 2018, [Daring]. Tersedia pada: <http://joernal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL>
- [8] E. Triyono *dkk.*, "Pengembangan Repeater Pasif Untuk Frekuensi 2,4 GHz," *Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO AAU)*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [9] H. Fahmi, "ANALISIS QOS (QUALITY OF SERVICE) PENGUKURAN DELAY, JITTER, PACKET LOST DAN THROUGHPUT UNTUK MENDAPATKAN KUALITAS KERJA RADIO STREAMING YANG BAIK," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 7, no. 2, hlm. 98–105, 2018.
- [10] ETSI, "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)," 1999. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.etsi.org>
- [11] A. Choeri, "Implementasi Sistem Pemantauan Kondisi Ruang Menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Protokol RF24Network," *JPTIHK*, vol. 3, no. 1, hlm. 274–283, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [12] W. Abdillah, D. Saripurna, S. Yakub, P. Studi Sistem Komputer, dan S. Triguna Dharma, "Analisis Kinerja LoRa (Long Range) berdasarkan Jarak dan Spreading Factor pada Area Rural," *Jurnal CyberTech*, vol. 4, no. 4, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://ojs.trigunadharna.ac.id/>
- [13] L. Achmad Tiransri, F. Dewanta, dan H. H. Nuha, "Analisis Quality of Service Modul NRF24L01 pada Sistem Stasiun Cuaca Lokal," *TELKA*, vol. 9, no. 1, hlm. 44–51, 2023.
- [14] U. J. Shobrina, R. Primananda, dan R. Maulana, "Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24L01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network," *JPTIHK*, vol. 2, no. 4, hlm. 1510–1517, 2018, [Daring]. Tersedia pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [15] Z. Maulana Bhakti, S. Raharjo, dan M. Sholeh, "ANALISIS KINERJA WIRELESS POINT TO POINT MULTIPOINT CLIENT BRIDGE DAN REPEATER PADA FREKUENSI 2.4 GHZ," *JARKOM*, vol. 3, no. 2, 2017.

