

UNJUK KERJA KOMUNIKASI NIRKABEL HALF-DUPLEX ANTARKENDARAAN MEMANFAATKAN NRF24L01

Ni Putu Amanda Saraswati¹, Ngurah Indra ER², Fajar Purnama³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali

amandasaraswati@student.unud.ac.id, indra@unud.ac.id, fajarpurnama@unud.ac.id

ABSTRAK

Studi ini menyelidiki efektivitas modul komunikasi nirkabel NRF24L01 yang terjangkau dalam mode *half-duplex* untuk komunikasi antarkendaraan (*Vehicle-to-Vehicle / V2V Communications*). Prototipe yang terbangun mengintegrasikan modul NRF24L01 dengan mikrokontroler ESP32 dan layar OLED. Studi ini menilai *delay* dan tingkat keberhasilan penyampaian paket untuk mengungkapkan atribut modul dalam situasi *half-duplex*. Studi ini tidak hanya melakukan pengumpulan data, tetapi juga menekankan keterbatasan praktis dan kekuatan modul. Ada dua tujuan utama yang ingin dicapai: pertama, untuk mengumpulkan data empiris yang dapat digunakan untuk membuat keputusan informatif dalam desain aplikasi NRF24L01, dan kedua, untuk berkontribusi pada pengembangan yang lebih luas dari protokol komunikasi nirkabel antar kendaraan. Selain itu, didapatkan pula pemahaman tentang dampak operasi *half-duplex* pada kinerja modul NRF24L01. Dengan mengetahui mekanisme komunikasi *half-duplex*, diharapkan tercapainya peningkatan efisiensi penggunaan NRF24L01 dan memfasilitasi pengembangan protokol yang lebih baik.

Kata kunci: ITS, V2V, Performa, *Half-duplex*.

ABSTRACT

This study investigates the efficacy of the affordable NRF24L01 wireless communication module in half-duplex mode for vehicle-to-vehicle (V2V) communication. The prototype integrated the NRF24L01 module with an ESP32 microcontroller and an OLED display. The study assesses the delay and packet success rate to uncover the module's attributes under half-duplex situations. This not only surpasses the mere collecting of data, but also emphasizes the practical limitations and strengths of the module. The project aims to achieve two main objectives: firstly, to gather empirical data that may be used to make well-informed decisions in the design of NRF24L01 applications, and secondly, to contribute to the broader examination of wireless communications protocols. It improves comprehension of the impact of half-duplex operation on the performance of the NRF24L01 module. By revealing the mechanics of half-duplex communication, it enhances the efficiency of NRF24L01 usage and facilitates the development of a better protocol.

Key Words: ITS, V2V, Performance, *Half-duplex*.

1. PENDAHULUAN

Komunikasi antarkendaraan merupakan sebuah teknologi komunikasi nirkabel yang mendorong konektivitas antarkendaraan dalam penyebaran informasi [1]. Dalam penerapannya kendaraan dapat melakukan komunikasi

dengan segalanya atau disebut V2X (*Vehicle to Everything*). Secara pembagian teknologi ini terbagi menjadi berbagai macam mode, namun yang utama adalah Kendaraan-ke-Kendaraan (V2V), Kendaraan-ke-Infrastruktur (V2I), dan Kendaraan-ke-Pejalan Kaki (V2P). Melalui

komunikasi V2V, kendaraan bertukar informasi secara *real-time*, termasuk kecepatan, posisi, dan status, menciptakan jaringan dinamis yang meningkatkan keselamatan jalan melalui aplikasi seperti penghindaran tabrakan dan kontrol jelajah adaptif kooperatif [2], [3]. Komunikasi V2I memperluas konektivitas ini ke infrastruktur pinggir jalan, memfasilitasi manajemen lalu lintas yang cerdas dan meningkatkan koordinasi sinyal, sehingga mengoptimalkan arus lalu lintas dan meminimalkan kemacetan [4]. Selain itu, komunikasi V2I juga memungkinkan kendaraan berfungsi sebagai pengumpul data dari lingkungan di kota cerdas [5]. Sebaliknya, komunikasi V2P mengutamakan keselamatan pejalan kaki dan pengendara sepeda, memungkinkan komunikasi antara kendaraan dan individu yang dilengkapi dengan perangkat pintar untuk mencegah potensi tabrakan [5]. Menurut data pada WHO (*World Health Organization*), kematian yang disebabkan oleh kecelakaan lalu lintas berada pada angka 1,2 juta jiwa setiap tahunnya dan di Indonesia tercatat terdapat 120 jiwa angka kecelakaan setiap harinya [6].

Dengan berbagai persoalan yang terdapat pada transportasi bermotor, terutama transportasi darat, diperlukannya sebuah solusi untuk dapat mengatasi berbagai permasalahan tersebut. Teknologi komunikasi antarkendaraan dapat menjawab persoalan yang dimiliki pada transportasi darat, salah satunya ialah persoalan efisiensi di dalam berkendara. Dengan teknologi tersebut, pengendara mampu melakukan komunikasi satu sama lain untuk mengantisipasi kemungkinan yang terjadi di jalan [7].

Dalam penelitian ini membahas bagaimana performa dari mode komunikasi *half-duplex* pada perangkat komunikasi antar kendaraan yang telah dirancang. *Half-duplex* merupakan suatu mode komunikasi yang memungkinkan transmisi data dilakukan secara dua arah, namun dalam waktu yang bergantian. Pemilihan mode komunikasi *half-duplex* didasari pada

kemampuannya mengatasi interferensi yang lebih baik dari *full-duplex* [8]. Perangkat komunikasi antar kendaraan yang dirancang memanfaatkan NRF24L01 *wireless module* sebagai perangkat *transmitter* dan *receiver*. NRF24L01 merupakan perangkat yang terjangkau dan mampu mengakomodir komunikasi nirkabel [9]. Penelitian ini bertujuan untuk dapat menghasilkan dua buah perangkat yang mampu berkomunikasi dengan mode komunikasi *half-duplex*, sehingga kedepannya akan memberikan petunjuk mengenai penggunaan mode komunikasi *half-duplex* antarkendaraan. Penggunaan perangkat elektronika seperti NRF24L01 memiliki tujuan untuk menghasilkan rancangan yang *low-cost* sehingga penggunaannya secara masif dapat dilakukan. Luaran yang ditujukan juga berupa skema yang dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi kendaraan, terutama untuk mode *half-duplex*.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Komunikasi Antarkendaraan

Komunikasi antarkendaraan merupakan suatu konsep yang memungkinkan setiap kendaraan untuk saling berkomunikasi sesuai skema pada gambar 1. Masing-masing kendaraan dapat saling berkomunikasi untuk menukarkan informasi yang berupa kecepatan, posisi, dan arah kendaraan. Penerapan konsep ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam berlalu lintas. Sistem komunikasi antarkendaraan atau yang sering disebut dengan *vehicle-to-vehicle communication* (V2V) merupakan bentuk implementasi dari ITS (*Intelligent Transportation System*) yang memanfaatkan gelombang radio untuk mengirim dan menerima informasi [10].



Gambar 1. Skema Komunikasi Antarkendaraan

Sistem komunikasi yang digunakan pada konsep ini bersifat nirkabel dan dapat melakukan transmisi informasi data secara *real-time*. Informasi yang dapat ditransmisikan berupa *emergency and warning message, routing and basic safety message, infotainment message, dan interpersonal message*. Namun, dalam penelitian ini hanya mentransmisikan informasi yang berupa paket data dengan mode komunikasi *half-duplex*. Keberhasilan transmisi informasi tersebut akan menjadi acuan keandalan sistem yang dirancang dalam melakukan komunikasi.

2.2 Half-duplex

Half-duplex merupakan mode komunikasi dua arah yang dilakukan secara bergantian. Dalam mode ini, satu perangkat dapat menjadi pengirim dan penerima dalam waktu yang bergantian. Ketika perangkat sedang mengirim, maka dalam waktu yang sama tidak dapat menerima, begitupun pada perangkat yang menerima. Mode *half-duplex* memanfaatkan seluruh *bandwith* saluran komunikasi dalam satu arah pada satu waktu [8]. Contoh penerapan mode komunikasi *half-duplex* adalah *walkie-talkie*. Dalam penelitian ini modul NRF24L01 yang berperan sebagai perangkat komunikasi diatur dalam mode *half-duplex*. Yang mana penerapannya sebagai sistem komunikasi antarkendaraan memerlukan sistem komunikasi dalam 2 arah untuk saling mengirimkan informasi. Informasi yang dikirimkan secara dua arah pada penelitian ini berupa paket data.

2.3 NRF24L01

NRF24L01 merupakan sebuah modul komunikasi nirkabel yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dengan *data rate* 250 Kbps hingga 2 Mbps [11]. Modul ini mampu melakukan komunikasi hingga 6 perangkat secara bersamaan. Dalam penerapannya, NRF24L01 bekerja dengan tegangan 5 V dan arus 9 mA. Modul ini bersifat ULP (*Ultra Low Power*) *solution*, sehingga mampu bertahan dalam waktu berbulan-bulan atau bertahun-tahun dengan penggunaan baterai. Beberapa perangkat yang

memanfaatkan NRF24L01 diantaranya *wireless mouse, keyboard, dan joystick*. Pada penelitian ini, NRF24L01 digunakan sebagai modul komunikasi untuk mentransmisikan data pada dua perangkat yang dirancang.



Gambar 2. Modul NRF24L01 [11]

NRF24L01 memiliki 8 pin, yaitu VCC, GND, CSN, CE, SCK, MOSI, MISO, dan IRQ [12] seperti pada gambar 2. Pin VCC berfungsi sebagai *input* catu daya dengan besaran 3,3 V. Pin GND berfungsi untuk *grounding* pada modul. Pin CSN (*Chip Select Not*) berfungsi untuk mengaktifkan *input high* dan menonaktifkan SPI (*Serial Peripheral Interface*) ketika keadaan menunjukkan selain *high*. Pin CE (*Chip Enable*) berfungsi untuk mengaktifkan SPI. Pin SCK (*Serial Clock*) berfungsi untuk memberikan masukan *clock* pada komunikasi SPI. Pin MOSI (*Master Out Slave In*) berfungsi sebagai lintasan NRF untuk mengirim data ke mikrokontroler. Pin MISO (*Master In Slave Out*) berfungsi sebagai lintasan NRF untuk menerima data dari mikrokontroler. Pin IRQ berfungsi untuk memberikan sinyal ketika NRF menerima data.

Tabel 1. Spesifikasi NRF24L01 [13].

NO	PARAMETER	SPESIFIKASI
1	Frekuensi	2,4 Ghz
2	Tegangan <i>Input</i>	1,9 – 3,6 V
3	Modulasi	GFSK
4	Kecepatan Data	250 Kbps, 1 Mbps, 2Mbps
5	Arus <i>Output</i> (Pemancar) Arus <i>Output</i> (Penerima)	11,3 mA 13,5 mA
6	Suhu Operasional	-40°C - 85°C
7	Sensitivitas Perangkat	82 dBm pada 2 Mbps -85 dBm pada 1 Mbps -94 dBm pada 250 Kbps

2.4 Delay

Delay merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu data dalam proses transmisi dari pengirim ke penerima. Waktu yang diperlukan dalam proses transmisi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu jarak, media fisik dan antrian pada suatu kanal komunikasi. Dalam sistem komunikasi terdapat beberapa jenis delay, yaitu *transmission delay*, *queueing delay*, *processing delay*, dan *propagation delay*. *Transmission delay* merupakan waktu yang diperlukan untuk mengirim suatu informasi melalui saluran transmisi. Hal yang mempengaruhi adanya *transmission delay* adalah jarak antara perangkat pengirim dan penerima, kecepatan transmisi kanal, dan kapasitas kanal. *Queueing delay* merupakan waktu yang diperlukan suatu data ketika menunggu proses pengiriman dalam suatu antrian transmisi. *Processing delay* merupakan waktu yang diperlukan suatu data untuk melakukan pemrosesan sebelum data tersebut dikirimkan. Kemudian *propagation delay* merupakan waktu yang diperlukan oleh sinyal ketika ditransmisikan dari perangkat pengirim ke penerima. Dalam penelitian ini dilakukan proses perhitungan delay untuk memastikan keandalan perangkat dalam melakukan transmisi informasi. Persamaan untuk menghitung nilai delay adalah sebagai berikut [14].

$$Delay\ rata - rata = \frac{Total\ delay}{Total\ packet\ yang\ diterima} \quad (1)$$

2.5 Packet Loss

Packet loss merupakan sebuah parameter yang menunjukkan kuantitas paket yang hilang pada suatu sistem komunikasi. Packet loss dapat disebabkan oleh *collision* dan *congestion* pada suatu jaringan komunikasi serta *buffer overflow*. Pada umumnya, suatu perangkat komunikasi memiliki *buffer* atau ruang penyimpanan untuk menampung suatu informasi yang diterima. Apabila terjadi *congestion* yang cukup lama, maka *buffer* akan penuh dan data informasi yang baru tidak akan diterima. Hal itulah yang akan menyebabkan terjadinya *packet loss*. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan nilai

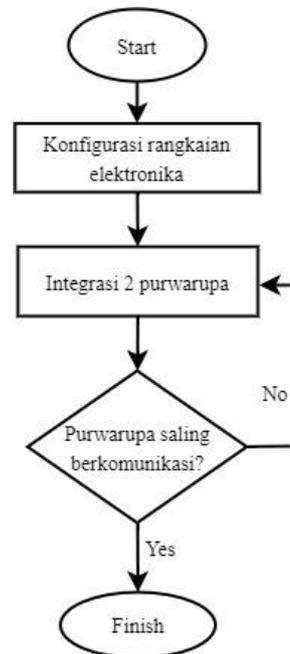
packet loss untuk memastikan kemampuan alat dalam melakukan transmisi informasi dalam skenario pengujian yang ditentukan. Persamaan untuk menyatakan nilai *packet loss* adalah sebagai berikut [14].

$$Packet\ Loss = \frac{Paket\ Kirim - Paket\ Terima}{Paket\ Kirim} \times 100\% \quad (2)$$

3. METODE PENELITIAN

Proses pengerjaan penelitian dilakukan pada Program Studi Teknik Elektro, Kampus Jimbaran dan Jalan BPPT Pura Candi Narmada. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan September 2023 hingga Januari 2024. Alur penelitian dimulai dari perancangan alat, konfigurasi mode *half-duplex*, dan pengujian perangkat komunikasi. Masing-masing tahapan penelitian dijabarkan dalam sub berikut.

3.1 Perancangan Alat

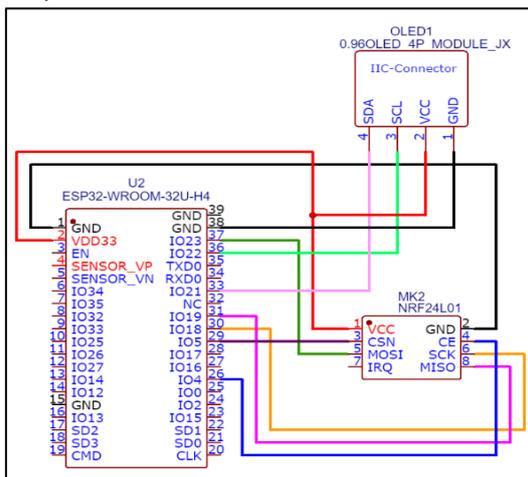


Gambar 3. Diagram Alir Integrasi Alat

Berdasarkan gambar 3, proses perancangan perangkat sistem komunikasi antarkendaraan melalui tiga tahapan, yaitu konfigurasi rangkaian elektronika yang digunakan (ESP32, NRF24L01, dan OLED), kemudian melakukan integrasi antar dua perangkat yang dirancang, dan tahap akhir adalah memastikan kedua perangkat

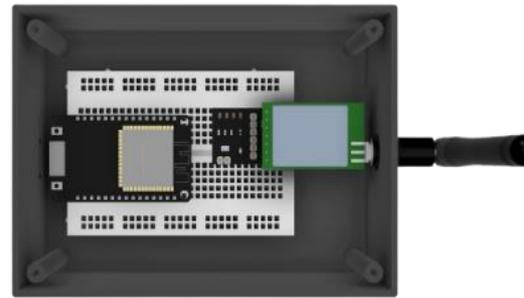
mampu melakukan komunikasi dengan saling menukarkan paket data.

Tahap awal dalam perancangan alat adalah melakukan konfigurasi rangkaian elektronika yang digunakan sebagai sistem komunikasi, yaitu antar ESP32, NRF24L01, dan OLED *display*. Masing-masing komponen dihubungkan sesuai gambar 4. Setelah menghubungkan seluruh komponen elektronika yang digunakan, ESP32 kemudian diprogram melalui Arduino IDE agar dapat melakukan komunikasi. Pada tahap ini dilakukan perancangan dua buah purwarupa yang nantinya berperan sebagai perangkat pengirim dan penerima. Mode komunikasi yang digunakan masih berupa *simplex*.



Gambar 4. Wiring Diagram Konfigurasi Komponen Elektronika

Komponen elektronika yang telah dihubungkan satu sama lain kemudian ditempatkan pada *box* IoT untuk memudahkan penempatan alat komunikasi pada kendaraan. Perangkat komunikasi yang bersifat *mobile* akan memudahkan penempatan dan penggunaan alat untuk berbagai jenis kendaraan. Kedua purwarupa perangkat komunikasi yang telah dirancang seperti Gambar 5 (a) dan (b) kemudian diujikan keberhasilan komunikasinya untuk saling mengirim dan menerima data. Keberhasilan pengiriman dan penerimaan data ditampilkan pada Gambar 6 (a) dan (b).

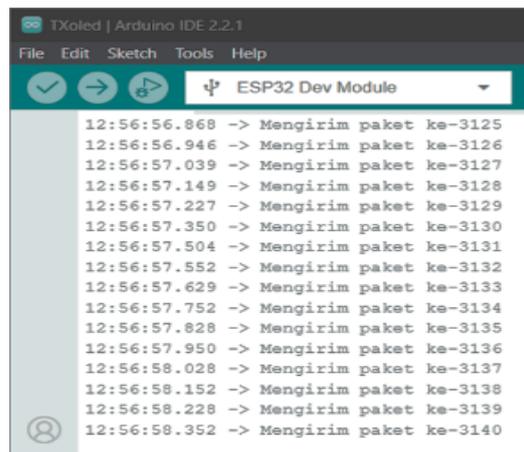


(a) Tampilan Dalam Perangkat



(b) Tampilan Luar Perangkat

Gambar 5 (a) dan (b). Tampilan Purwarupa Komunikasi Antarkendaraan



(a) Hasil Pengiriman Paket Data

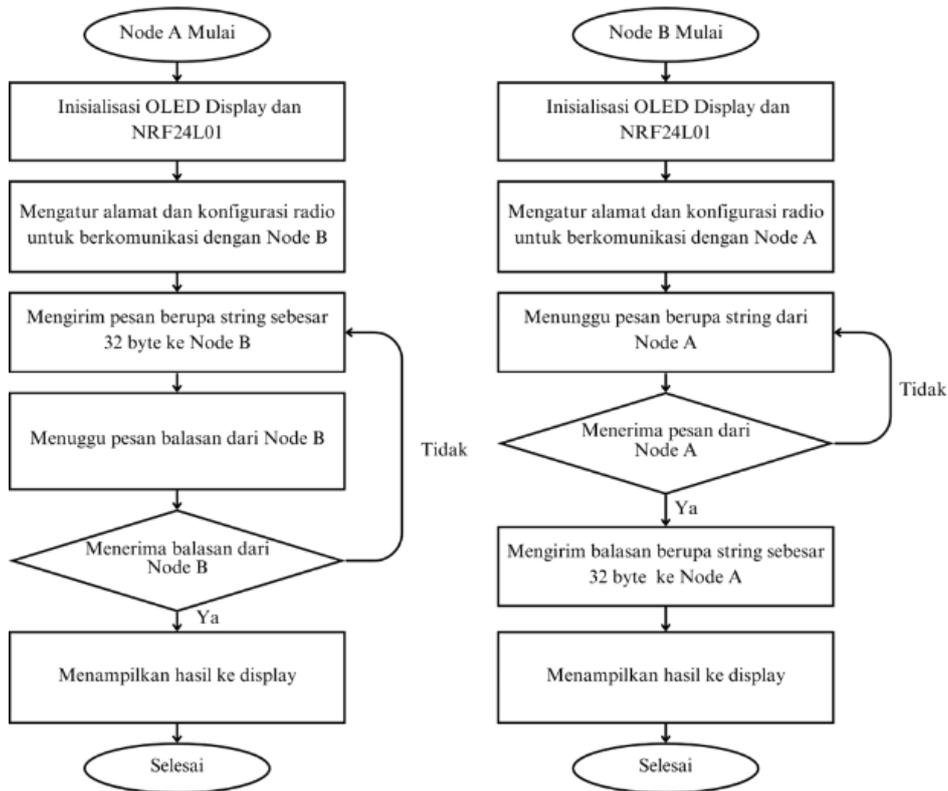
```

12:56:56.901 -> Menerima paket ke-3126
12:56:57.039 -> Menerima paket ke-3127
12:56:57.103 -> Menerima paket ke-3128
12:56:57.227 -> Menerima paket ke-3129
12:56:57.304 -> Menerima paket ke-3130
12:56:57.427 -> Menerima paket ke-3131
12:56:57.506 -> Menerima paket ke-3132
12:56:57.629 -> Menerima paket ke-3133
12:56:57.708 -> Menerima paket ke-3134
12:56:57.829 -> Menerima paket ke-3135
12:56:57.905 -> Menerima paket ke-3136
12:56:58.028 -> Menerima paket ke-3137
12:56:58.106 -> Menerima paket ke-3138
12:56:58.184 -> Menerima paket ke-3139
12:56:58.308 -> Menerima paket ke-3140
12:56:58.383 -> Menerima paket ke-3141
    
```

(b) Hasil Penerimaan Paket Data Gambar 6 (a) dan (b). Keberhasilan Transmisi Data

3.2 Konfigurasi Mode *Half-Duplex*

Perangkat komunikasi yang telah dirancang kemudian di-*setting* dalam mode komunikasi *half-duplex*. Mode *half-duplex* memungkinkan perangkat untuk menjadi pengirim dan penerima dalam waktu yang bergantian. Tujuan penggunaan mode komunikasi *half-duplex* dalam penelitian ini adalah untuk menguji performa perangkat NRF24L01 dalam melakukan komunikasi secara dua arah. Mode *half-duplex* di-*setting* melalui pemrograman arduino IDE yang kemudian meneruskan perintah pada ESP32 dan NRF24L01. Tahap konfigurasi mode *half-duplex* ditampilkan pada Gambar 7.

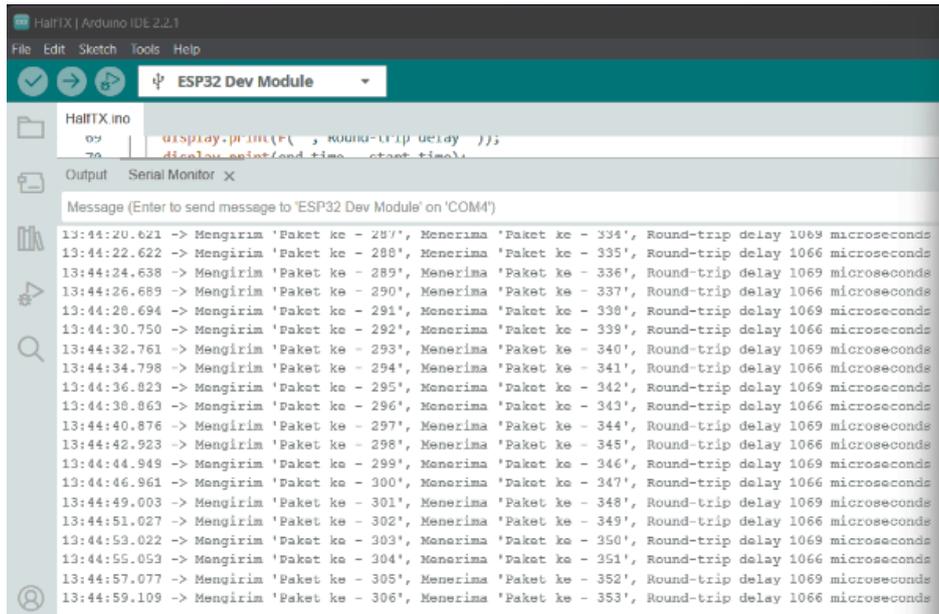


Gambar 7. Blok Diagram Konfigurasi Mode *Half-duplex*

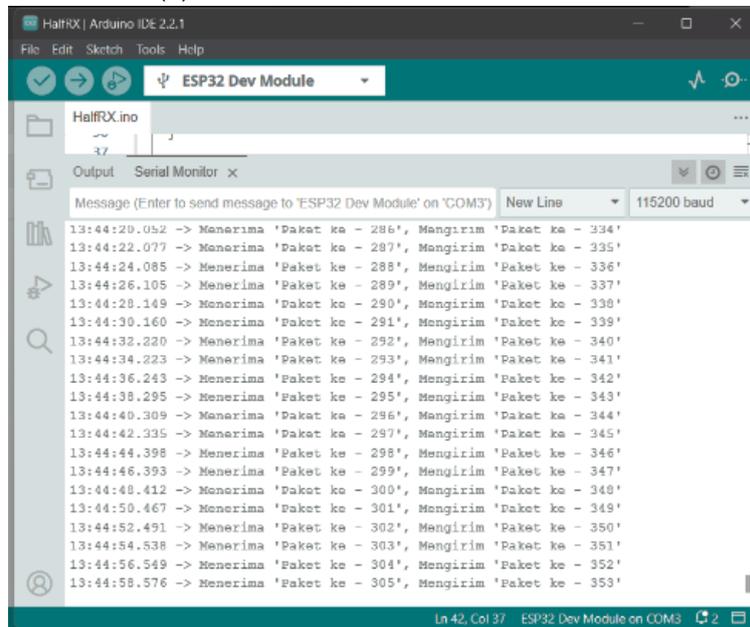
Dalam konfigurasi mode *half-duplex*, kedua perangkat didefinisikan sebagai *node A* dan *node B* yang kemudian melakukan transmisi data secara bergantian. Ketika *node A* dalam mode *writing*, maka *node B* berada pada mode *listening*. Begitu

sebaliknya secara bergantian. Waktu pergantian untuk menjadi pengirim dan penerima adalah 200 ms dengan jeda transmisi data dari mengirim paket 1 ke paket 2 dan seterusnya adalah 500 ms. Keberhasilan proses transmisi data dalam

mode *half-duplex* ditampilkan pada gambar 8 (a) dan (b).



(a) Hasil Transmisi Paket Data Node A



(b) Hasil Transmisi Paket Data Node B

Gambar 8 (a) dan (b). Keberhasilan Transmisi Data Mode *Half-duplex*

3.3 Pengujian Perangkat Komunikasi

Perangkat komunikasi yang telah terancang dalam mode *half-duplex* kemudian diujikan dalam dua skenario, yaitu *steady state* dan *mobile state*. Dalam kondisi diam (*steady state*) dilakukan pengujian dengan variasi jarak, yaitu 5, 10, 25, 50, 100, dan 200 meter. Sedangkan dalam kondisi

bergerak (*mobile state*) diujikan dengan variasi kecepatan, yaitu 20 km/jam dan 30 km/jam. Dalam penelitian ini diamati pengiriman paket data. Nilai parameter yang diujikan adalah *delay* dan *packet loss* yang mana indeks dan kategorinya ditentukan menurut standar TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol*

Harmonization Over Network) sesuai Tabel. 2 dan 3. Masing-masing skenario pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk memastikan performa NRF dalam melakukan komunikasi.

Tabel 2. Kategori Delay [14]

Kategori Delay	Besar Delay	Indeks
Sangat Baik	< 150 ms	4
Baik	150 – 300 ms	3
Cukup	300 – 450 ms	2
Buruk	> 450 ms	1

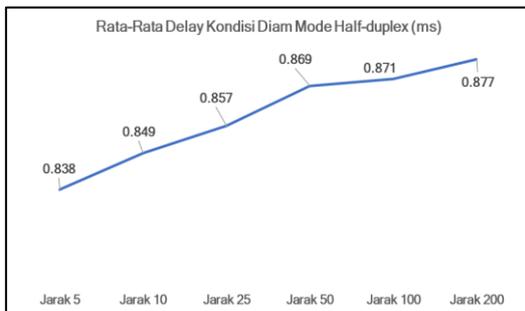
Tabel 3. Kategori Packet Loss [14]

Kategori Packet Loss	Packet Loss	Indeks
Sangat Baik	0 – 2%	4
Baik	3 – 14%	3
Cukup	15 – 24%	2
Buruk	> 25%	1

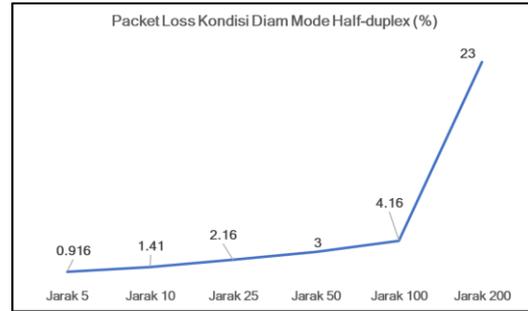
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kondisi Diam

Pengujian pada kondisi *steady state* (diam) dilakukan dengan jarak yang bervariasi, yaitu 5, 10, 25, 50, 100 hingga 200 meter. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dalam kondisi diam diamati pengiriman paket data sebanyak 120 dengan rentang waktu pengiriman per paketnya adalah 500 ms. Dari 10 kali percobaan yang dilakukan didapatkan nilai rata-rata *delay* dan *packet loss* sesuai Gambar 9 (a) dan (b).



(a) Rata-rata Delay



(b) Packet Loss

Gambar 9. Rata Delay dan Packet Loss Berdasarkan Variasi Jarak

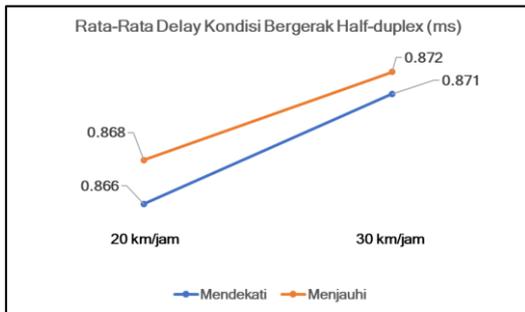
Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *delay* mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan jarak, yaitu dari 0,838 ms pada jarak 5 meter menjadi 0,877 ms pada jarak 200 meter. Nilai *delay* yang didapatkan dalam kondisi ini mengalami peningkatan dalam rentang jarak yang telah diujikan. Menurut standar TIPHON, nilai *delay* tersebut berada pada indeks 4 dengan kategori *delay* sangat baik.

Kemudian berlanjut pada parameter *packet loss* yang diujikan pada jarak dan lokasi yang sama. Berdasarkan Gambar 9b, nilai *packet loss* yang didapatkan juga mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan jarak. Nilai *packet loss* meningkat dari 0,916% pada jarak 5 meter menjadi 23% pada jarak 200 meter. Dari parameter ini dapat dilihat bahwa *packet loss* mengalami peningkatan yang besar pada jarak 100 hingga 200 meter. Menurut standar TIPHON, nilai *packet loss* pada jarak 5 hingga 10 meter berada pada indeks 4 dengan kategori sangat baik, kemudian pada jarak 25 hingga 100 meter berada pada indeks 3 dengan kategori baik, dan pada jarak 200 meter berada pada indeks 2 dengan kategori cukup. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa perangkat komunikasi mulai mengalami penurunan performa kerja pada jarak 200 meter.

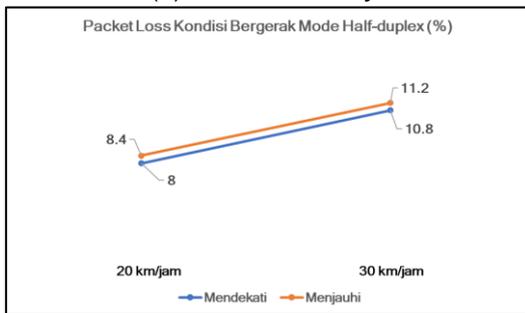
4.2 Analisis Kondisi Bergerak

Pengujian pada kondisi bergerak (*mobile state*) dilakukan pada lokasi yang sama dengan kondisi diam. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, pada kondisi bergerak diamati pengiriman 25 paket data

dengan acuan jarak 100 meter. Pada kondisi bergerak dilakukan pengujian dengan kecepatan yang bervariasi, yaitu 20 km/jam dan 30 km/jam dengan skenario mendekati dan menjauhi. Berdasarkan Gambar 10 (a) dan (b) didapatkan nilai *delay* dan *packet loss* yang mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan kecepatan baik dalam skenario mendekati maupun menjauhi.



(a) Rata-rata Delay



(b) Packet Loss

Gambar 10. Rata Delay dan Packet Loss Berdasarkan Variasi Kecepatan

Nilai *delay* dalam skenario mendekati mengalami peningkatan dari 0,866 ms menjadi 0,871 ms, kemudian dalam skenario menjauhi mengalami peningkatan dari 0,868 ms menjadi 0,872 ms. Menurut acuan standar TIPHON, nilai *delay* yang didapatkan berada pada indeks 4 dengan kategori *delay* sangat baik.

Nilai *packet loss* pada kondisi bergerak juga mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan kecepatan dalam dua skenario uji (mendekati dan menjauhi). Pada skenario mendekati, nilai *packet loss* meningkat dari 8% menjadi 10,8 %, sedangkan dalam skenario menjauhi meningkat dari 8,4 % menjadi 11,2 %. Berdasarkan standar TIPHON, nilai *packet*

loss berada pada indeks 3 dengan kategori baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pengujian yang telah dilakukan untuk perangkat komunikasi NRF dalam mode *half-duplex*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Modul NRF24L01 dapat melakukan komunikasi dua arah secara bergantian (*half-duplex*) dengan transmisi paket data yang bersifat *round-trip* dan jeda transmisi 0,2 ms.
2. Mode komunikasi *half-duplex* dengan perangkat pengirim kondisi diam, didapatkan *delay* yang semakin besar seiring bertambahnya jarak. Namun, nilai *delay* yang dihasilkan hampir konsisten di angka 0,8 ms. Rata-rata *delay* pada jarak 5 meter adalah 0,838 ms yang meningkat menjadi 0,877 ms pada jarak pengukuran terjauh, 200 meter. Pada kondisi bergerak, didapatkan *delay* yang semakin besar seiring bertambahnya kecepatan baik pada skenario menjauhi maupun mendekati. Pada skenario menjauhi, nilai *delay* dengan kecepatan 20 km/jam adalah 0,868 ms yang meningkat menjadi 0,872 ms pada kecepatan 30 km/jam. Sedangkan pada skenario mendekati, nilai *delay* dengan kecepatan 20 km/jam adalah 0,866 ms yang meningkat menjadi 0,871 ms pada kecepatan 30 km/jam.
3. Parameter *packet loss* dengan kondisi diam dan bergerak memiliki nilai yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak dan kecepatan. Pada kondisi diam, nilai rata-rata *delay* pada jarak 5 meter adalah 0,916% yang meningkat menjadi 23% pada jarak terjauh 200 meter. Pada kondisi bergerak dengan skenario menjauhi, nilai *packet loss* dengan kecepatan 20 km/jam adalah 8,4% yang meningkat menjadi 11,2% pada kecepatan 30 km/jam. Kemudian pada skenario mendekati, nilai *packet loss* dengan kecepatan 20 km/jam

adalah 8% meningkat menjadi 10,8% pada kecepatan 30 km/jam.

4. Berdasarkan standar TIPHON, pada mode *half-duplex* nilai *delay* berada pada kategori sangat baik, sedangkan nilai *packet loss* berada pada kategori sangat baik hingga cukup.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Adrian, S. Sulisty, and I. W. Mustika, "2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)," in *4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta: IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [2] S. Darbha, S. Konduri, and P. R. Pagilla, "Benefits of V2V Communication for Autonomous and Connected Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 5, pp. 1954–1963, May 2019, doi: 10.1109/TITS.2018.2859765.
- [3] C. Liu, C.-W. Lin, S. Shiraishi, and M. Tomizuka, "Improving Efficiency of Autonomous Vehicles by V2V Communication," in *Annual American Control Conference (ACC)*, Milwaukee: IEEE, Jun. 2018, pp. 4778–4783.
- [4] E. Paikari, S. Tahmasseby, and B. Far, "A Simulation-based Benefit Analysis of Deploying Connected Vehicles Using Dedicated Short Range Communication," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Michigan: IEEE, Jun. 2014, pp. 980–985.
- [5] P. Merdrignac, O. Shagdar, and F. Nashashibi, "Fusion of Perception and V2P Communication Systems for the Safety of Vulnerable Road Users," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 7, pp. 1740–1751, Jul. 2017, doi: 10.1109/TITS.2016.2627014.
- [6] K. Kamarullah, Endroyono, and Wirawan, "Optimasi Cross Layer Untuk Protokol Dynamic Source Routing Pada Komunikasi Antar Kendaraan Berbasis Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 443–448, 2017.
- [7] M. Alsudani and T. Ozturk, "Wireless Communication Between Vehicles: Exploring the Potential of V2V and V2X Communication for Improved Efficiency, Safety, and Sustainability," *Journal of Millimeterwave Communication, Optimization and Modelling*, vol. 3, no. 1, pp. 9–13, Jun. 2023, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/372824335>
- [8] N. V. Shende, Ö. Gürbüz, and E. Erkip, "Half-Duplex or Full-Duplex Communications: Degrees of Freedom Analysis under Self-Interference," *IEEE Trans Wirel Commun*, vol. 17, no. 2, pp. 1081–1093, Feb. 2018, doi: 10.1109/TWC.2017.2774823.
- [9] B. Babusiak and M. Smondrk, "Design and Implementation of Low-Cost and Low-Energy Sensor for Wireless Sensor Networks," Slovakia: IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [10] G. Naik, B. Choudhury, and J. M. Park, "IEEE 802.11bd 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70169–70184, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2919489.
- [11] Herlambang, "Analisis Komunikasi Full-duplex Modul NRF24L01 dengan Pengaplikasian Channel Frekuensi," Skripsi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto, 2021. Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://repository.itelkom-pwt.ac.id/7175/7/BAB%20II.pdf>
- [12] A. Septiano and T. Ghazali, "NRF 24L01 Sebagai Pemancar/Penerima untuk Wireless Sensor Network,"

Jurnal TEKNO, vol. 17, no. 1, pp. 26–27, Apr. 2020.

- [13] R. Sidqi, B. R. Rynaldo, S. H. Suroso, and R. Firmansyah, "Arduino Based Weather Monitoring Telemetry System Using NRF24L01+," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Apr. 2018, pp. 4–8. doi: 10.1088/1757-899X/336/1/012024.
- [14] P. R. Utami, "ANALISIS PERBANDINGAN QUALITY OF SERVICE JARINGAN INTERNET BERBASIS WIRELESS PADA LAYANAN INTERNET SERVICE PROVIDER (ISP) INDIHOME DAN FIRST MEDIA," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 25, no. 2, pp. 125–137, 2020, doi: 10.35760/tr.2020.v25i2.2723.