

RANCANG BANGUN PURWARUPA SISTEM KOMUNIKASI ANTAR KENDARAAN MENGGUNAKAN NRF24L01 MODE SIMPLEX

K. N. Adi Wiranata¹, Ngurah Indra ER², Gede Sukadarmika³

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

²³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali

adiwiranatak@gmail.com, indra@unud.ac.id, sukadarmika@unud.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan prototipe sistem komunikasi antar kendaraan (Vehicle-to-Vehicle / V2V communications) menggunakan modul NRF24L01, mikrokontroler ESP32 dan layar OLED dalam mode simplex. Sistem ini memungkinkan komunikasi yang efektif dan instan antara kendaraan dalam lingkungan Vehicle Ad-Hoc Networks (VANET). Dalam implementasinya, kami mengoptimalkan tingkat transmisi daya dan tingkat data untuk memastikan transmisi data yang cepat dan responsif. Kami mengintegrasikan komponen kunci, seperti ESP32, NRF24L01, dan layar OLED, ke dalam desain perangkat keras untuk membangun sistem yang dapat diandalkan dan terintegrasi dengan lancar. Kami juga merancang prototipe untuk meminimalkan biaya. Prototipe ini menunjukkan solusi teknis yang efektif dan hemat biaya untuk komunikasi kendaraan, menjadikannya cocok untuk proyek penelitian dan pengembangan yang membutuhkan komunikasi nirkabel dalam skenario antar kendaraan dunia nyata. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi positif pada kemajuan teknologi untuk mendukung konektivitas dan meningkatkan keselamatan dalam mobilitas kendaraan di masa mendatang. Temuan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para peneliti, insinyur, dan pembuat kebijakan yang tertarik dalam meningkatkan kemampuan komunikasi dan mobilitas kendaraan.

Kata kunci : Sistem Transportasi Cerdas (ITS), Komunikasi Antar Kendaraan (V2V), NRF24L01, ESP32, OLED, Simplex.

ABSTRACT

This research aims to design and develop a prototype vehicle-to-vehicle (V2V) communication system utilizing the NRF24L01 module, ESP32 microcontroller, and OLED display in simplex mode. The system enables effective and instant communication between vehicles in the Vehicle Ad-Hoc Networks (VANETs) environment. In the implementation, we optimized the power transmission level and data rate to ensure fast and responsive data transmission. We integrated key components, such as the ESP32, NRF24L01, and OLED display, into the hardware design to establish a reliable and seamlessly integrated system. We also designed the prototype to minimize costs. The prototype demonstrates an effective and cost-efficient technical solution for vehicle communication, making it suitable for research and development projects requiring wireless communication in real-world vehicle scenarios. This research aims to positively contribute to advancing technology to support connectivity and safety in future vehicle mobility. The findings of this research can be beneficial for researchers, engineers, and policymakers interested in improving vehicular communication and mobility.

Key Words : Intelligent Transportation System (ITS), Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications, NRF24L01, ESP32, OLED, Simplex.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk yang selaras dengan peningkatan jumlah pengguna transportasi darat menyebabkan

berbagai permasalahan seperti kemacetan dan polusi. Di Indonesia tercatat terjadi peningkatan jumlah penduduk dan juga peningkatan jumlah transportasi darat.

Sejak 2015 hingga 2021 terjadi peningkatan sejumlah 17 juta orang dengan peningkatan kendaraan bermotor sebanyak 29 juta kendaraan [1].

Tidak selaras dengan peningkatan jumlah penduduk dan kendaraan, pembaharuan dan peningkatan teknologi pada kendaraan bermotor tidak signifikan. Selain untuk mengurangi jumlah kemacetan dan polusi, kebutuhan akan sistem informasi pada kendaraan tentu sangat berperan untuk mencegah terjadinya kecelakaan lalu lintas. Maka dari itu, perlunya mewujudkan ITS (Intelligent Transportation System) untuk dapat menunjang sistem informasi kendaraan dalam tujuannya untuk mengatasi kemacetan dan kecelakaan menjadi salah satu alternatif penyelesaian masalah. Dari sisi efisiensi, sistem komunikasi antar kendaraan dapat mengurangi tingkat kemacetan sebanyak 30% dengan efisiensi bahan bakar 10% yang disusul dengan waktu berkendara [2], [3].

Kemudian pada sisi keamanan dan kenyamanan berkendara, komunikasi antar kendaraan dapat meminimalisir terjadinya kecelakaan lalu lintas dengan cara memberikan informasi terupdate disertai dengan keadaan lingkungan sekitar. Oleh karena hal itu, pencegahan dapat dilakukan hingga 90% sehingga sistem komunikasi antar kendaraan dapat memberikan alternatif penyelesaian terhadap kecelakaan lalu lintas kendaraan bermotor [4]. Sehingga mempermudah pengemudi di dalam mengambil keputusan. Disamping itu, komunikasi antar kendaraan juga dapat membantu penyampaian data dengan toleransi waktu tunda yang didapat dari lingkungan di kota cerdas [5].

Road Side Unit (RSU) merupakan salah satu bagian dari penerapan sistem komunikasi antar kendaraan yang dimana RSU dipergunakan sebagai sistem broadcast informasi terhadap lingkungan sekitar. RSU sendiri dikategorikan menjadi dua buah jenis, RSU statis dan RSU dinamis [6]. Sebagai awalan terhadap komunikasi antar kendaraan, maka diperlukan sebuah perangkat atau purwarupa komunikasi kendaraan, yang dapat berperan sebagai fondasi awal mewujudkan sistem komunikasi antar kendaraan. Maka dari itu dalam penelitian ini ditujukan untuk dapat menghasilkan sistem komunikasi antar kendaraan khususnya RSU statis yang low-cost namun tetap dapat diandalkan. RSU

dinilai dapat untuk memberikan informasi yang akurat terhadap lingkungan sekitar sehingga memberikan keamanan dalam berkendara [7].

Dalam penelitian ini digunakan NRF24L01 sebagai perangkat elektronika penunjang sistem komunikasi nirkabel. NRF24L01 merupakan perangkat yang dapat digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel skala kecil dan menengah [8]. Selain penggunaan NRF24L01, perangkat elektronika lainnya yang digunakan adalah ESP32 dan juga OLED, yang masing-masing berperan sebagai pembangkit bit dan juga pemberi informasi tentang kondisi pengiriman packet. Mode *simplex* digunakan sebagai perumpamaan RSU yang hanya melakukan broadcast satu arah maupun meneruskan informasi yang didapatkan.

Oleh karena itu, perancangan terhadap sistem komunikasi antar kendaraan dengan menggunakan mode komunikasi *simplex* dengan tujuan pemanfaatan kedepannya sebagai fondasi perancangan RSU statis sehingga dapat dipergunakan dalam penelitian lebih lanjut terhadap hal serupa.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Road Side Unit (RSU)

Road Side Unit (RSU) merupakan perangkat yang berperan dalam intelligent transportation systems (ITS) untuk memberikan layanan komunikasi dan infrastruktur bagi kendaraan yang beroperasi di jalan raya. RSU umumnya terletak di sepanjang jalan atau di tempat yang tetap. RSU berperan sebagai penghubung antara On-Board Units (OBU) dan memfasilitasi komunikasi vehicle-to-infrastructure (V2I) [9]. RSU mengolah data kendaraan, menyebarkan informasi lalu lintas, mendukung pengelolaan lalu lintas, dan meningkatkan keamanan jalan raya.

2.2 NRF24L01

NRF24L01 adalah modul komunikasi jarak jauh yang menggunakan frekuensi pita gelombang radio 2.4 GHz. Modul ini berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal. Modul ini memiliki pilihan opsi data rate 250 Kbps, 1 Mbps, dan 2 Mbps [10]. NRF24L01 menggunakan antarmuka SPI

(Serial Peripheral Interface) keberadaan antarmuka SPI mempermudah integrasi NRF24L01 ke dalam sistem mikrokontroler seperti ESP32.

2.3 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems yang merupakan bagian dari rangkaian mikrokontroler ESP (*Easy, Efficient, and Extensible*). Ini adalah system-on-chip (SoC) berbiaya rendah, berdaya rendah, dan sangat terintegrasi yang menggabungkan transceiver Wi-Fi dan Bluetooth 2,4 GHz, radio Bluetooth *dual-mode*, dan prosesor RISC 32-bit. ESP32 dirancang untuk aplikasi IoT (*Internet of Things*) [11]. Spesifikasi teknis dari ESP32 meliputi processor berupa prosesor RISC 32-bit dengan frekuensi clock hingga 240 MHz. Adapun kapasitas memorinya terdiri dari 520 KB SRAM, 448 KB ROM, dan 4 MB memori flash.

2.4 OLED Display

Sebuah layar OLED (Organic Light-Emitting Diode) adalah jenis tampilan panel datar yang menggunakan senyawa organik untuk menghasilkan cahaya. Ini dikenal karena kontras tinggi, hitam yang dalam, dan efisiensi energinya. Layar OLED berinterface I2C berukuran 0,96 inci (128x64) adalah layar kecil dan hemat daya yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti perangkat wearable, perangkat rumah pintar, dan perangkat IoT. Antarmuka I2C memungkinkan komunikasi mudah antara layar dan mikrokontroler, menjadikannya pilihan untuk proyek-proyek yang memerlukan tampilan kecil dan hemat daya.

2.5 Simplex

Komunikasi *simplex* adalah jenis komunikasi di mana data ditransmisikan hanya dalam satu arah, dari pengirim ke penerima, tanpa adanya umpan balik atau tanggapan dari penerima. Jenis komunikasi ini digunakan dalam sistem di mana transfer data unidireksional diperlukan, seperti pada perangkat tampilan atau aplikasi transmisi

data satu arah. Keuntamaan utama dari komunikasi simplex adalah kemudahan dan efektivitas biaya, karena tidak memerlukan saluran terpisah untuk umpan balik atau tanggapan dari penerima. Komunikasi simplex sering digunakan dalam aplikasi berdaya rendah dan berbiaya rendah, seperti perangkat rumah pintar dan perangkat IoT [12].

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, pembangunan purwarupa dibagi menjadi tiga tahap utama. Tahap pertama melibatkan konfigurasi ESP32 dengan OLED *display* untuk menciptakan antarmuka visual yang informatif. Selanjutnya, tahap kedua fokus pada konfigurasi ESP32 dengan NRF24L01, sebuah modul komunikasi nirkabel yang dapat mendukung pertukaran data antar perangkat. Tahap terakhir, yaitu integrasi purwarupa, penggabungan hasil konfigurasi sebelumnya untuk menciptakan sistem yang lebih kompleks dan berfungsi secara menyeluruh.

3.1 Konfigurasi ESP32 dengan OLED

Proses awal merupakan penambahan beberapa library yang diperlukan untuk memastikan kompatibilitas dan dukungan fungsionalitas yang diperlukan dalam penelitian. Setelah itu, langkah berikutnya adalah mendefinisikan alamat OLED yang akan digunakan, yang kemudian digunakan untuk membuat objek display dengan parameter yang sesuai. Pada tahap setup, pengaturan tampilan OLED melibatkan berbagai aspek, seperti warna teks, ukuran teks, dan posisi kursor. Dengan mengatur parameter ini dapat memastikan bahwa hasil akhir dari konfigurasi ESP32 dan OLED akan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Misalnya, warna teks yang dipilih dapat memberikan kontras yang optimal, ukuran teks dapat disesuaikan untuk keterbacaan maksimal, dan posisi kursor dapat ditempatkan dengan tepat sesuai dengan desain tampilan yang diinginkan. Dalam tahap ini, hasilnya berupa teks informatif

yang memberikan status dan informasi penting.

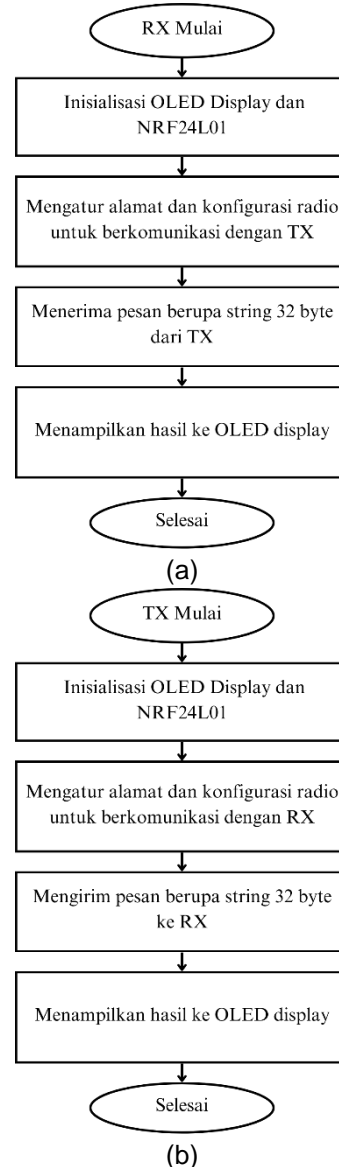
3.2 Konfigurasi ESP32 dengan RF24L01

Pada tahapan konfigurasi ESP32 dan modul NRF24L01 dalam penelitian ini, langkah awal dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan sistem yang melibatkan komunikasi nirkabel. Selanjutnya, pemilihan *library* yang tepat untuk mengimplementasikan komunikasi antara ESP32 dan NRF24L01, dengan memperhatikan ketersediaan fitur yang diperlukan. Setelah itu, alamat dan konfigurasi pines untuk koneksi antara ESP32 dan NRF24L01 ditetapkan, memastikan ketersediaan saluran komunikasi yang stabil. Pada tahap inisialisasi, objek untuk modul NRF24L01 diinisialisasi dengan parameter-parameter yang sesuai, termasuk channel dan panjang *payload*. Selanjutnya, dalam fungsi *setup*, dilakukan konfigurasi awal seperti mengaktifkan komunikasi, mengatur tingkat daya, dan menentukan peran perangkat sebagai pengirim atau penerima. Fungsi *loop* kemudian digunakan untuk mengeksekusi tindakan berulang, seperti pengiriman dan penerimaan data melalui modul NRF24L01, yang diintegrasikan dengan logika kendali yang telah ditentukan.

3.3 Integrasi Purwarupa

Dalam tahapan konfigurasi papan ESP32 dengan modul komunikasi nirkabel NRF24L01 dan layar OLED, langkah awal dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan penelitian dan merancang protokol komunikasi yang optimal. Pemilihan *library* perangkat lunak yang mendukung ESP32, NRF24L01, dan layar OLED menjadi langkah utama untuk memastikan kompatibilitas dan kestabilan sistem. Setelah itu, definisi alamat serta konfigurasi modul NRF24L01 perlu diatur sesuai dengan kebutuhan jaringan nirkabel. Selanjutnya, inisialisasi objek OLED *display* dilakukan, memastikan pengaturan resolusi dan parameter lainnya sesuai dengan spesifikasi layar. Fungsi *setup* digunakan untuk menginisialisasi komunikasi,

pengaturan tampilan, dan konfigurasi modul NRF24L01. Setelah sebuah perangkat keras dapat terbentuk maka dilakukan integrasi antara dua perangkat dimana satu sebagai pengirim (TX) dan satu lagi sebagai penerima (RX). Integrasi antara dua perangkat ditunjukkan pada *flowchart* Gambar 1.



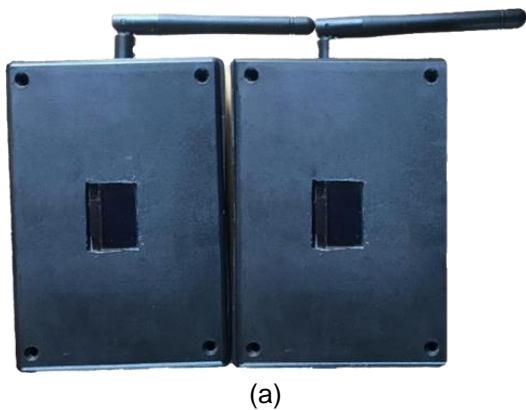
Gambar 1. Flowchart proses komunikasi dua purwarupa: (a) Pengirim, (b) Penerima

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

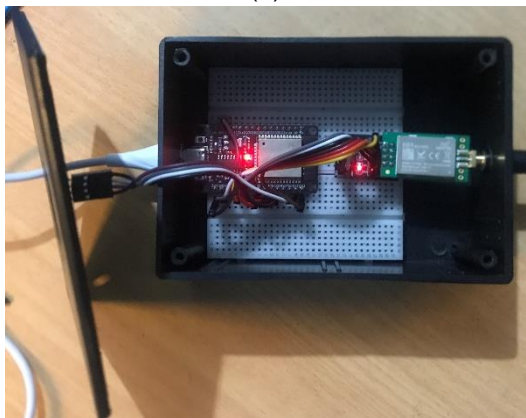
4.1 Purwarupa

Pada purwarupa level daya (*power level*) Power Amplifier (PA) diatur menjadi 3 dBm, dan data rate ditetapkan sebesar 2 Mbps (Megabit per detik) pada kedua

perangkat, mengindikasikan seberapa cepat data dapat ditransmisikan antara modul NRF24L01 TX dan RX. Keputusan menggunakan data rate sebesar 2 Mbps ini diambil untuk memastikan transmisi data yang optimal dan cepat dalam konteks aplikasi yang membutuhkan respons instan. Gambar 2(a) dan Gambar 2(b) menunjukkan hasil dari perancangan purwarupa, yang merupakan hasil integrasi komponen-komponen utama seperti ESP32, NRF24L01, dan OLED display. Perangkat keras tersebut juga ditempatkan dalam sebuah box plastik, berfungsi sebagai pelindung untuk komponen-komponen tersebut.



(a)

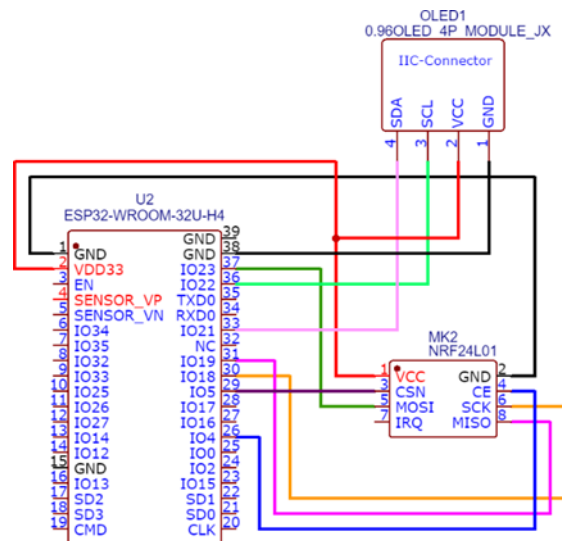


(b)

Gambar 2. Perangkat keras: (a) Tampak luar, (b) Tampak dalam.

Pada Gambar 3. Menunjukkan wiring diagram dari perangkat keras yang telah dihasilkan dengan ESP32 sebagai mikrokontroler, NRF24L01 sebagai *wireless module*, dan OLED display yang bertanggung jawab untuk visualisasi

informasi. Penelitian serupa juga berhasil dilakukan oleh Agafonovs et al. (2012) dengan judul “Accessible, Customizable, High-Performance IEEE 802.11p Vehicular Communication Solution”. Mengambil referensi dari penelitian tersebut, penelitian ini melakukan pendekatan yang lebih low cost dimana komponen yang digunakan lebih terjangkau dengan performa yang menyerupai. Adapun komponen antenna yang digunakan berupa Alix.2D2 routers dengan IEEE 802.11p, diubah menjadi ESP32 dengan NRF24L01. Dengan demikian, perangkat keras yang terintegrasi dengan modul NRF24L01, ESP32, dan OLED display ini tidak hanya menunjukkan performa tinggi dalam hal kecepatan transmisi data, tetapi juga mewakili solusi yang hemat biaya untuk komunikasi nirkabel yang efektif dan efisien. Efektif karena mampu menyampaikan informasi atau data secara tepat dan akurat tanpa terjadi kegagalan atau gangguan yang signifikan dalam proses komunikasi. Dan efisien karena dapat melakukan fungsi komunikasi nirkabelnya dengan menggunakan sumber daya (seperti biaya produksi dan daya listrik) seminimal mungkin



Gambar 3. Wiring Diagram

4.2 Pengujian Packet Loss

Pengujian *packet loss* dilakukan dengan memisahkan perangkat sejauh 50 meter secara *line of sight*, pengujian

dilakukan sebanyak 10 kali. Dalam setiap pengujian (pengujian 1 sampai 10) masing-masing diamati pengiriman sebanyak 600 *packet* yang kemudian dicari nilai *packet loss* rata-rata. Pengujian *packet loss* berguna untuk menilai sejauh mana ketidakstabilan dalam sebuah jaringan. Dengan melakukan pengujian ini, dapat mengukur seberapa efektif jaringan tersebut dalam mentransmisikan paket data tanpa kehilangan. Yang selanjutnya hasil pengujian dibandingkan dengan standar dari Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON).

Tabel 1. Hasil Pengujian Packet Loss

No	Pengujian	Packet Loss (%)	TIPHON Packet Loss
1	Pengujian ke-1	0	Sangat Baik
2	Pengujian ke-2	0	Sangat Baik
3	Pengujian ke-3	0	Sangat Baik
4	Pengujian ke-4	0	Sangat Baik
5	Pengujian ke-5	0,1667	Sangat Baik
6	Pengujian ke-6	0	Sangat Baik
7	Pengujian ke-7	0	Sangat Baik
8	Pengujian ke-8	0	Sangat Baik
9	Pengujian ke-9	0	Sangat Baik
10	Pengujian ke-10	0	Sangat Baik
	Rata-Rata	0,01667	

Berdasarkan hasil pengujian komunikasi menggunakan modul NRF24L01 yang tercatat pada tabel di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa kinerja komunikasi ini sangat baik dengan tingkat *packet loss* yang rendah. Oleh karena itu, hasil pengujian ini mendukung kehandalan modul NRF24L01 dalam mentransmisikan data tanpa kehilangan yang signifikan

4.3 Pengujian Delay

Pengujian delay dilakukan dengan memisahkan perangkat sejauh 50 meter secara line of sight, pengujian dilakukan sebanyak 10 kali. Dalam setiap pengujian (pengujian 1 sampai 10) masing-masing diamati pengiriman sebanyak 600 *packet* yang kemudian dicari nilai *delay* rata-rata. Pengujian *delay* pada transmisi data NRF24L01 bertujuan untuk mengevaluasi respons waktu atau keterlambatan dalam mentransmisikan data antara dua perangkat yang terhubung menggunakan modul NRF24L01. Fungsi pengujian *delay* ini sangat penting dalam konteks aplikasi waktu nyata atau sistem yang membutuhkan respon cepat.

Tabel 2. Hasil Pengujian Delay

No	Pengujian	Delay Rata-Rata (ms)	TIPHON Delay
1	Pengujian ke-1	0,265	Sangat Baik
2	Pengujian ke-2	0,276	Sangat Baik
3	Pengujian ke-3	0,27	Sangat Baik
4	Pengujian ke-4	0,274	Sangat Baik
5	Pengujian ke-5	0,302	Sangat Baik
6	Pengujian ke-6	0,291	Sangat Baik
7	Pengujian ke-7	0,295	Sangat Baik
8	Pengujian ke-8	0,298	Sangat Baik
9	Pengujian ke-9	0,346	Sangat Baik
10	Pengujian ke-10	0,298	Sangat Baik
	Rata-Rata	0,2915	

Setiap pengujian, yang dilakukan sebanyak 10 kali, menghasilkan nilai *delay* yang konsisten dan mendekati nilai rata-rata tersebut. Dengan nilai *delay* yang rendah, modul NRF24L01 mampu menjalankan proses komunikasi dengan efisien dan responsif. Kategori "Sangat Baik" pada standar TIPHON *Delay* mencerminkan bahwa modul ini dapat diandalkan untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat dan handal dalam komunikasi nirkabel.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengujian, dan analisis, maka rancang bangun purwarupa sistem komunikasi antar kendaraan menggunakan NRF24L01 pada mode *simplex* telah berhasil dirancang dan bekerja dengan baik. Level daya (*power level*) Power Amplifier (PA) yang diatur menjadi 3 dBm dengan *data rate* 2 Mbps memberikan indikasi kecepatan transmisi data yang optimal, sesuai dengan kebutuhan respon instan dalam aplikasi kendaraan. Purwarupa ini berhasil dikembangkan dengan pendekatan *low-cost*. Hal ini menegaskan bahwa purwarupa ini bukan hanya berhasil mencapai performa tinggi dalam kecepatan transmisi data, tetapi juga mewakili solusi yang ekonomis untuk komunikasi nirkabel yang efektif dan efisien.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Data BPS
- [2] Jumaah, I. K., Mohammed, T. J., & Mesrop, S. S. (2019). Study the Importance of Intelligent Transportation Systems in Solving Congestion Problems within the City and Conservation of the Environment. *International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019)*, 518(2), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022032>
- [3] Yogha, K. B. (2021). A Study of V2V Communication on VANET: Characteristic, Challenges and Research Trends. *JISA (Jurnal Informatika Dan Sains)*, 4(1), 46–58.
- [4] Vaa, T., Penttinen, M., & Spyropoulou, I. (2018). Intelligent Transport Systems and Effects on Road Traffic Accidents: State of The Art. *IET Intelligent Transport Systems*, 1(2), 81–88. <https://doi.org/10.1049/iet-its:20060081>
- [5] Er, N. I., Singh, K. D., Couturier, C., & Bonnin, J.-M. (2023). Towards a simple and efficient vehicular delay tolerant networks routing protocol for data collection in smart cities. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 22(1), 65. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v22i1.24801>
- [6] Ercan, Secil & Ayaida, Marwane & Messai, Nadhir. (2018). How mobile RSUs can enhance communications in VANETs?. 1-5. 10.1109/WINCOM.2018.8629641.
- [7] T.-J. Wu, W. Liao, and C.-J. Chang, A Cost-Effective Strategy for RoadSide Unit Placement in Vehicular Networks, *IEEE Transactions on Communications* 60(8), 2012.
- [8] Mahbub, Mobasshir. (2019). Design and Implementation of Multipurpose Radio Controller Unit Using nRF24L01 Wireless Transceiver Module and Arduino as MCU. *International Journal of Digital Information and Wireless Communications*. 9. 61-72. 10.17781/P002598.
- [9] Guerna, A. Bitam, S. Calafate, C. Roadside Unit Deployment in Internet of Vehicles Systems: A Survey. *Sensors*. 2022; 22(9):3190. <https://doi.org/10.3390/s22093190>
- [10] Shobrina, U. J., Primananda, R., & Maulana, R. (2017). Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24L01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2(4),

- 1510–1517. Diambil dari <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/1241>
- [11] A. Maier, A. Sharp and Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," 2017 Internet Technologies and Applications (ITA), Wrexham, UK, 2017, pp. 143-148, doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
- [12] M. J. Sarmah and S. Azeemuddin, "Circuits for Initializing Simplex Communication Channels," 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), Coimbatore, India, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCIC.2017.8524237.