

RANCANG BANGUN PURWARUPA SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL *VEHICLE-TO-INFRASTRUCTURE* TERINTEGRASI GPS

I Made Wira Yudha¹, Ni Nyoman Tirtha Santyani², Ngurah Indra ER³, Gede Sukadarmika⁴, Fajar Purnama⁵

^{1,2}Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{3,4,5}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus UNUD, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali

wyudha0987@gmail.com¹, ninyomantirhasantyani@gmail.com², indra@unud.ac.id³,
sukadarmika@unud.ac.id⁴, fajarpurnama@unud.ac.id⁵

ABSTRAK

Sistem komunikasi *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) memegang peranan krusial dalam pengembangan sistem transportasi cerdas, terutama untuk pemantauan lalu lintas secara *real-time*. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengembangan purwarupa sistem V2I yang terintegrasi dengan *Global Positioning System* (GPS) untuk akuisisi dan komunikasi data posisi serta kecepatan kendaraan. Purwarupa ini terdiri dari *On-Board Unit* (OBU) dan *Road-Side-Unit* (RSU) yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32, modul komunikasi nirkabel NRF24L01, dan modul GPS Ublox Neo M8N. Sistem dirancang untuk mengirimkan data kendaraan ke infrastruktur guna mendukung pemantauan kepadatan lalu lintas. Pengujian fungsionalitas dilakukan dalam kondisi *steady state* (diam) dan *mobile state* (bergerak). Pada kondisi *steady state*, akurasi data posisi yang dikirimkan OBU mencapai rata-rata 96,7% dibandingkan dengan koordinat referensi yang divalidasi. Pada kondisi *mobile state*, data kecepatan dari OBU menunjukkan korelasi yang baik terhadap pembacaan speedometer kendaraan, dengan kinerja yang terpengaruh oleh halangan sinyal GPS di lingkungan urban. Hasil penelitian mendemonstrasikan bahwa purwarupa sistem V2I ini mampu menyediakan data spasial dan kecepatan kendaraan dengan akurasi yang menjanjikan, sehingga berpotensi menjadi landasan untuk pengembangan sistem informasi lalu lintas cerdas.

Kata kunci: *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I), Komunikasi Nirkabel, GPS, Purwarupa Sistem, ESP32, NRF24L01, Sistem Transportasi Cerdas.

ABSTRACT

Vehicle-to-Infrastructure (V2I) communication systems play a crucial role in the development of intelligent transportation systems (ITS), particularly for real-time traffic monitoring. This research focuses on the design and development of a V2I system prototype integrated with a *Global Positioning System* (GPS) for acquiring and communicating vehicle position and speed data. The prototype consists of an *On-Board Unit* (OBU) and a *Roadside Unit* (RSU) implemented using an ESP32 microcontroller, an NRF24L01 wireless communication module, and a Ublox Neo M8N GPS module. The system is designed to transmit vehicle data to the infrastructure to support traffic density monitoring. Functional testing was conducted under steady-state (stationary) and mobile-state (moving) conditions. Under steady-state conditions, the accuracy of position data transmitted by the OBU reached an average of 96.7% compared to validated reference coordinates. Under mobile-state conditions, the speed data from the OBU showed a good correlation with vehicle speedometer readings, with performance affected by GPS signal obstructions in urban environments. The research results demonstrate that this V2I system

prototype can provide spatial and speed data with promising accuracy, potentially serving as a foundation for the development of intelligent traffic information systems.

Keywords: *Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Wireless Communication, GPS, System Prototype, ESP32, NRF24L01, Intelligent Transportation Systems (ITS).*

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sebuah proses pemindahan dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah wahana yang digerakkan [1]. Transportasi memudahkan manusia untuk berpindah dari suatu tempat asal menuju tempat tujuan dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Salah satu permasalahan transportasi yang kerap terjadi di beberapa kota besar di Indonesia adalah kepadatan lalu lintas. Kepadatan lalu lintas ini menyebabkan berbagai kerugian bagi para pengguna jalan, seperti pemborosan waktu, bahan bakar, dan energi. Selain itu, kepadatan lalu lintas juga menurunkan kenyamanan dalam berkendara serta berkontribusi terhadap meningkatnya polusi udara dan kebisingan [2].

Bertambahnya volume lalu lintas di beberapa ruas jalan di Indonesia tentunya sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah penduduk. Meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia berdampak pada peningkatan penggunaan sarana transportasi. Selain itu, dengan kemudahan kepemilikan transportasi secara pribadi di Indonesia akan berdampak pada peningkatan volume kendaraan sehingga dapat meningkatkan kepadatan lalu lintas.

Maka dari itu, diperlukannya sebuah teknologi pada kendaraan yang mampu mengatasi permasalahan kepadatan lalu lintas. Salah satu teknologi yang dapat menjadi solusi adalah teknologi komunikasi antar kendaraan dan komunikasi antara kendaraan dengan infrastruktur. Teknologi tersebut dapat menjadi solusi alternatif dalam mendukung sistem informasi pada kendaraan guna mengatasi masalah kepadatan lalu lintas. Selain itu, teknologi tersebut juga mampu mengurangi kepadatan lalu lintas sebanyak 30% serta efisiensi bahan bakar mencapai 10% [3], [4].

Sebagai tahap awal dalam mengimplementasikan komunikasi antara kendaraan dengan infrastruktur (*Vehicle-to-Infrastructure*) yang mampu mendeteksi kepadatan lalu lintas, maka pada penelitian ini ditujukan untuk dapat menghasilkan perangkat RSU yang ditempatkan pada infrastruktur serta perangkat OBU yang terpasang pada kendaraan agar mampu saling berkomunikasi data lokasi yang diperoleh dari GPS perangkat.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 *Vehicle-to-Infrastructure (V2I)*

Teknologi V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) adalah salah satu bentuk komunikasi yang memungkinkan kendaraan untuk berinteraksi dengan infrastruktur di sekitarnya. Pengembangan teknologi ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan lalu lintas serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi. V2I dirancang untuk memenuhi kebutuhan mobilitas masa depan dengan menyediakan informasi lalu lintas secara real-time kepada pengendara. Dalam sistem komunikasi V2I, terdapat dua perangkat utama, yaitu On-Board-Unit (OBU) yang dipasang pada kendaraan dan Roadside Unit (RSU) yang ditempatkan pada infrastruktur. Infrastruktur yang dapat berkomunikasi dengan kendaraan mencakup lampu lalu lintas, rambu-rambu jalan, serta pusat kontrol lalu lintas. RSU memiliki peran krusial dalam sistem ini, karena berfungsi sebagai titik utama yang menghubungkan komunikasi antara kendaraan dan infrastruktur transportasi [5].

2.2 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis System on Chip (SoC) yang memiliki harga terjangkau dan konsumsi daya rendah [6]. Salah satu keunggulan utama dari ESP32 adalah keberadaan modul Wi-Fi dan Bluetooth, yang memungkinkan pengembangan aplikasi

berbasis Internet of Things (IoT) dengan koneksi nirkabel [7]. Mikrokontroler ini dikembangkan oleh Espressif Systems, sebuah perusahaan yang berbasis di Shanghai, China. Selain itu, ESP32 dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai sensor setelah melalui proses pemrograman dan implementasi kode sumber yang telah dirancang untuk mengoperasikan suatu sistem [8]. Mikrokontroler ESP32 memiliki dua versi board, yaitu board 30 GPIO dan 36 GPIO dengan memiliki fungsi yang sama, akan tetapi board mikrokontroler ESP32 versi 30 GPIO lebih dipilih karena memiliki dua buah pin GND. Mikrokontroler ESP32 juga memiliki interface USB-to-UART yang bertujuan untuk memudahkan proses pemrograman dengan pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE serta memiliki sumber daya untuk board bisa diberikan melalui konektor micro-USB [9].

2.2 NRF24L01

NRF24L01 adalah modul komunikasi nirkabel yang berfungsi sebagai transceiver data, beroperasi pada frekuensi RF 2,4 - 2,5 GHz dalam pita [10]. Modul ini kompatibel dengan berbagai jenis mikrokontroler dan dapat diakses langsung melalui protokol komunikasi Serial Peripheral Interface (SPI). NRF24L01 memiliki kecepatan transmisi data yang bervariasi, yaitu 250 kbps, 1 Mbps, hingga 2 Mbps, serta dikenal karena konsumsi dayanya yang rendah [11]. Selain itu, modul ini menggunakan teknologi Ultra Low Power (ULP), yang memungkinkan baterainya bertahan dari beberapa bulan hingga bertahun-tahun [12]. Dengan jangkauan hingga 100 meter (200 kaki) dalam kondisi optimal, modul ini sangat cocok untuk proyek yang memerlukan kontrol nirkabel jarak jauh. NRF24L01 juga bersifat half-duplex, sehingga dapat berfungsi sebagai pemancar (Tx) atau penerima (Rx) dalam satu waktu [13],[14],[15].

2.2 GPS Ublox Neo M8N

Global Positioning System (GPS) adalah teknologi navigasi berbasis satelit

yang digunakan untuk menentukan posisi geografis suatu objek di permukaan bumi. GPS diluncurkan pada akhir 1970-an oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat [16]. GPS telah memberikan dampak cukup besar pada hampir semua aplikasi penentuan posisi, navigasi, pemantauan, dan pengaturan waktu. Salah satu modul GPS yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi adalah GPS Ublox Neo 6M. Modul ini terkenal akan keandalannya, tingkat akurasi yang tinggi, serta kemudahan dalam integrasi dengan berbagai sistem. GPS Ublox Neo 6M berfungsi sebagai modul GPS yang dapat memperoleh koordinat lokasi dan mengirimkan informasi tersebut melalui berbagai jalur komunikasi. GPS Ublox Neo M8N memiliki ukuran yang cukup kecil yang dapat diaplikasikan ke laptop dengan protokol UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) [17].

2.2 OLED

OLED (*Organic Light Emitting Diode*) merupakan jenis dioda pemancar cahaya (OLED) yang memiliki lapisan *emissive electroluminescent*, berupa lembaran senyawa organik yang dapat memancarkan cahaya saat dialiri arus listrik. Lapisan ini terbuat dari material semikonduktor organik yang ditempatkan di antara dua elektroda, di mana salah satunya umumnya bersifat transparan. Ketebalan lapisan organik pada OLED berkisar antara 100 hingga 500 nanometer dan dapat terdiri dari dua atau tiga lapisan. Struktur dasar OLED terdiri dari katode dan anode yang menggunakan bahan *Indium Tin Oxide* (ITO) transparan. Sementara itu, lapisan organiknya tersusun atas beberapa lembaran tipis, termasuk *Hole Transporting Layer* (HTL), *Emissive Layer* (EML), dan *Electron Transporting Layer* (ETL) [18]. OLED memiliki beberapa pin untuk mengintegrasikannya dengan mikrokontroler seperti, pin GND, VCC, SCL, SDA. Pin VCC (*Voltage Common Collector*) digunakan untuk memberikan tegangan suplai ke modul OLED, pin GND digunakan

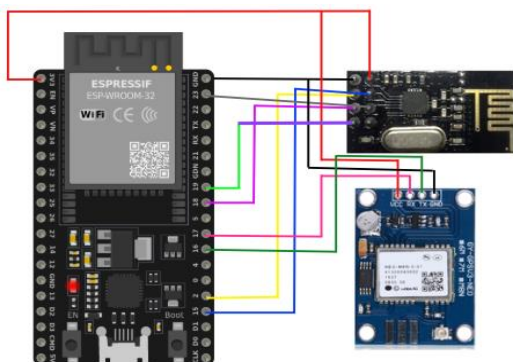
untuk menghubungkan ground modul OLED ke *ground* pada sistem, pin SCL (*Serial Clock Line*) berfungsi sebagai jalur *clock* dalam komunikasi I2C, dan pin SDA (*Serial Data Line*) berfungsi sebagai jalur data dalam komunikasi I2C.

3. METODOLOGI PENELITIAN

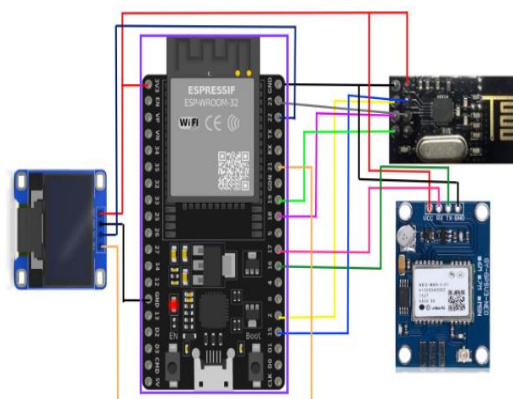
Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Sudirman dan Kampus Bukit Jimbaran, Universitas Udayana. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan September 2024 hingga bulan Februari 2025. Alur penelitian ini dimulai dari perancangan perangkat dan pengintegrasian antar komponen untuk membangun perangkat serta pengujian akurasi GPS pada perangkat. Untuk masing-masing alur penelitian akan dibahas pada sub berikut.

3.1 Perancangan Perangkat

Perancangan perangkat diawali dengan konfigurasi konfigurasi dari masing-masing komponen elektronika dengan mikrokontroler ESP32 untuk memastikan bahwa masing-masing komponen berfungsi dengan baik. Setelah memastikan komponen pembangun perangkat ini berfungsi dengan baik, langkah selanjutnya adalah menghubungkan seluruh komponen elektronika tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 1. Kemudian mikrokontroler ESP32 diprogram melalui software Arduino IDE agar dapat membangun mode komunikasi serta algoritma pengolahan data.



(a) Wiring Pada Perangkat OBU



(b) Wiring Pada Perangkat RSU

Gambar 1 (a) dan (b). Skematik Rangkaian Elektronika

Pada Gambar 1 (a) dan (b) terlihat adanya perbedaan wiring antara perangkat OBU dan RSU. Dimana pada perangkat RSU dirancang dengan tidak menggunakan OLED *display* yang hasilnya akan ditampilkan pada serial monitor perangkat RSU itu sendiri.

3.2 Pengujian Akurasi Perangkat

Pengujian akurasi perangkat ini dilakukan pada dua kondisi yaitu *steady state* dan *mobile state* dengan menguji akurasi GPS module yang terintegrasi pada perangkat. Pengujian dilakukan dalam kondisi yang terkontrol yang disusun agar sesuai dengan skenario keadaan yang sesungguhnya pada panjang lintasan 100 meter. Lokasi pengujian ini dilakukan di Universitas Udayana Kampus Sudirman Denpasar dengan menggunakan tiga kendaraan yang terpasang perangkat OBU serta 1 perangkat RSU yang diletakkan pada suatu titik.

Pengujian *steady state* dilakukan dengan menempatkan perangkat OBU dalam jangkauan RSU pada jarak 100 meter. Jarak tersebut dibagi ke dalam beberapa segmen untuk OBU 1, OBU 2, dan OBU 3. Data yang diamati adalah jarak antara OBU dan RSU, yang ditampilkan pada OLED Display dan dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung menggunakan meteran.

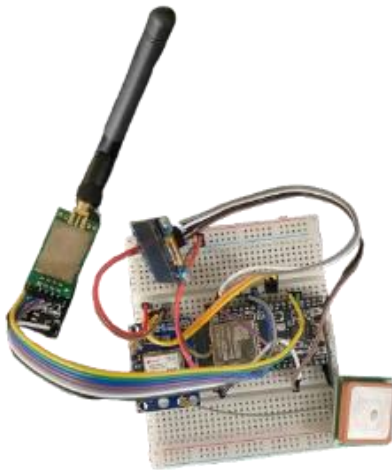
Pengujian *mobile state* merupakan pengujian yang dilakukan dalam kondisi bergerak mendekati RSU. Dimana pada

pengujian ini dilakukan untuk menguji akurasi kecepatan dari sensor GPS modul pada perangkat OBU. Kecepatan yang dibandingkan adalah kecepatan pada speedometer kendaraan sepeda motor dengan kecepatan yang ditampilkan layar OLED pada perangkat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Susut Daya Sebelum Dipasang Kapasitor

Hasil perancangan perangkat yang telah terbangun dari komponen-komponen utama seperti ESP32, NRF24L01, dan OLED display dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil integrasi antarkomponen untuk membangun sebuah perangkat tersebut ditempatkan dalam sebuah box iot plastic berukuran 18,5 x 11,7 x 6,5 cm untuk melindungi komponen-komponen yang dapat dilihat pada Gambar 3.



(a) Hasil Integrasi Perangkat OBU



(b) Hasil Integrasi Perangkat RSU

Gambar 2 (a) dan (b). Hasil Perancangan wiring Perangkat



Gambar 3. Hardware Perangkat OBU (atas) dan RSU (bawah)

4.2 Pengujian Akurasi Perangkat Pada Kondisi Steady State.

Pengujian akurasi perangkat pada kondisi *steady state* dilakukan sejauh 100 meter sebanyak 10 kali pengujian dengan berbagai tipe jarak. Dalam setiap pengujian ini diamati *distance* atau jarak antara perangkat RSU yang menjadi titik 0 dengan perangkat OBU yang diletakkan dalam jarak yang telah ditentukan dalam tipe jarak sebelumnya. Pengujian ini membandingkan antara jarak yang tertampil pada *display* perangkat dengan pengukuran langsung menggunakan meteran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi posisi GPS *Module* yang terdapat pada perangkat dalam keadaan diam.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 1 Pada Kondisi *Steady State*

No	Tipe jarak (m)	OBU 1	
		OLED	Pengukuran Langsung
1.	0 – 10 m	6 m	5 m
2.	10 – 20 m	13 m	12 m
3.	20 – 30 m	23 m	23 m
4.	30 – 40 m	33 m	33 m
5.	40 – 50 m	43 m	42 m
6.	50 – 60 m	50 m	51 m
7.	60 – 70 m	60 m	61 m
8.	70 – 80 m	70 m	72 m
9.	80 – 90 m	79 m	83 m
10.	90 – 100 m	92 m	93 m
Rata-rata Akurasi		96%	

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 2 Pada Kondisi *Steady State*

No	Tipe jarak (m)	OBU 2	
		OLED	Pengukuran Langsung
1.	0 – 10 m	7 m	7 m
2.	10 – 20 m	15 m	15 m
3.	20 – 30 m	23 m	25 m
4.	30 - 40 m	36 m	35 m
5.	40 - 50 m	45 m	45 m
6.	50 – 60 m	57 m	55 m
7.	60 – 70 m	65 m	65 m
8.	70 – 80 m	75 m	75 m
9.	80 – 90 m	87 m	85 m
10.	90 – 100 m	96 m	95 m
Rata-rata Akurasi		98%	

Tabel 3. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 3 Pada Kondisi *Steady State*

No	Tipe jarak (m)	OBU 3	
		OLED	Pengukuran Langsung
1.	0 – 10 m	9 m	10 m
2.	10 – 20 m	21 m	20 m
3.	20 – 30 m	30 m	30 m
4.	30 - 40 m	38 m	39 m
5.	40 - 50 m	50 m	49 m
6.	50 – 60 m	58 m	59 m
7.	60 – 70 m	68 m	69 m
8.	70 – 80 m	78 m	79 m
9.	80 – 90 m	88 m	89 m
10.	90 – 100 m	98 m	99 m
Rata-rata Akurasi		96%	

Dari hasil pengujian akurasi perangkat yang terlihat pada tabel di atas, didapatkan hasil selisih antara jarak yang tertampil pada OLED perangkat dengan pengukuran langsung berkisar 0 – 4 m. Setiap tipe jarak dalam 10 kali pengujian dengan kondisi diam terlihat akurasi yang konsisten serta memiliki rata-rata akurasi 96,7% dari ketiga OBU. Hal tersebut membuktikan perangkat memiliki akurasi yang mampu mendekati keadaan yang sebenarnya dalam kondisi *steady state*.

4.3 Pengujian Akurasi Perangkat Pada Kondisi *Mobile State*.

Pengujian akurasi perangkat pada kondisi *mobile state* pengujian ini dilakukan dengan panjang lintasan pengujiannya sejauh 100 meter untuk menguji akurasi kecepatan dari sensor pada perangkat OBU. Kecepatan yang dibandingkan adalah kecepatan pada speedometer kendaraan sepeda motor dengan kecepatan yang ditampilkan layar OLED pada perangkat.

Pada pengujian ini dilakukan dengan jenis kendaraan yang sama serta kendaraan yang digerakan dengan kecepatan 11 km/jam, 15 km/jam, 21 km/jam, 31 km/jam, dan 40 km/jam.

Tabel 4. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 1 Pada Kondisi *Mobile State*

No	Kecepatan	OBU 1	
		OLED	Speedometer
1	11 Km/h	10,22 Km/h	11 Km/h
2	15 Km/h	14,15 Km/h	15 Km/h
3	21 Km/h	20,28 Km/h	21 Km/h
4	31 Km/h	28,83 Km/h	31 Km/h
5	40 Km/h	35,15 Km/h	40 Km/h
Rata-rata Akurasi		92,86%	

Tabel 5. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 2 Pada Kondisi *Mobile State*

No	Kecepatan	OBU 2	
		OLED	Speedometer
1	11 Km/h	10,18 Km/h	11 Km/h
2	15 Km/h	14,30 Km/h	15 Km/h
3	21 Km/h	20,19 Km/h	21 Km/h
4	31 Km/h	28,59 Km/h	31 Km/h
5	40 Km/h	35,04 Km/h	40 Km/h
Rata-rata Akurasi		92,74%	

Tabel 6. Hasil Pengujian Akurasi Perangkat OBU 3 Pada Kondisi *Mobile State*

No	Kecepatan	OBU 3	
		OLED	Speedometer
1	11 Km/h	10,42 Km/h	11 Km/h
2	15 Km/h	14,03 Km/h	15 Km/h
3	21 Km/h	20,11 Km/h	21 Km/h
4	31 Km/h	29,01 Km/h	31 Km/h
5	40 Km/h	35,66 Km/h	40 Km/h
Rata-rata Akurasi		93,3%	

Pada hasil pengujian *mobile state* dengan jenis kendaraan yang sama terlihat hasil rata-rata akurasi yang tinggi hingga mendekati keadaan yang sebenarnya. Pada hasil tersebut pula terlihat hasil yang hampir sama antara ketiga OBU yang terpasang pada kendaraan. Hal ini membuktikan bahwa adanya sedikit perbedaan yang diterima oleh masing-masing sensor GPS *module* pada perangkat tersebut. Perbedaan itu disebabkan oleh akurasi dan stabilitas sensor GPS *module* yang menerima sinyal data dari satelit pada kondisi bergerak yang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor pada lokasi pengujian, diantaranya pengaruh lingkungan dan pengaruh *multipath*. Pengaruh lingkungan pada pengujian berlangsung juga merupakan salah satu faktor akurasi maupun stabilitas sensor GPS *module* pada perangkat, dimana pada pengujian berlangsung dalam kondisi berawan serta berada diantara gedung dan pepohonan yang cukup tinggi menyebabkan akurasi berkurang. Pengaruh *multipath* yang diakibatkan oleh faktor lingkungan pada lokasi pengujian juga dapat menurunkan akurasi serta stabilitas dari sensor GPS *module* yang menyebabkan kesalahan perhitungan dalam posisi dan kecepatan yang diterima oleh sensor GPS [19].

5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun purwarupa sistem komunikasi *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) yang terintegrasi dengan GPS menggunakan modul NRF24L01 dan modul Ublox Neo M8N. Sistem ini terbukti mampu mengakuisisi serta mengirimkan data posisi dan kecepatan kendaraan secara nirkabel. Pengujian fungsionalitas pada kondisi *steady state* menunjukkan bahwa akurasi data posisi yang dihasilkan oleh purwarupa mencapai rata-rata 96,7% dibandingkan dengan koordinat referensi yang telah divalidasi. Selanjutnya, pada kondisi *mobile state*, pengujian data kecepatan dari ketiga purwarupa OBU yang dikembangkan menunjukkan akurasi rata-rata sebesar

92,96% bila dibandingkan dengan pembacaan *speedometer* pada kendaraan yang diuji. Hasil-hasil ini secara kumulatif menunjukkan bahwa purwarupa sistem V2I yang dikembangkan memiliki performa fungsional yang baik dan akurat. Keberhasilan implementasi menggunakan komponen berbiaya rendah (*low-cost*) ini menawarkan wawasan berharga untuk pengembangan awal dan studi kelayakan aplikasi kendaraan cerdas serta sistem informasi lalu lintas, dengan catatan bahwa aspek skalabilitas teknologi komunikasi perlu menjadi pertimbangan utama untuk implementasi dalam skala yang lebih luas.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul, Karim, dkk. 2023. Manajemen Transportasi. Penerbit Yayasan Cendikia Mulia Mandiri. Batam.
- [2] Tamin, O. Z. 2002. Perencanaan dan Permodelan Transportasi. Bandung : ITB Bandung.
- [3] Jumaah, I. K., Mohammed, T. J., & Mesrop, S. S. 2019. Study the Importance of Intelligent Transportation System in Solving Congestion Problems within the City and Conservation of the Environment. (ICSET 2019).
- [4] Yogha, K. B. 2021. A Study of V2V Communication on VANET: Characteristic, Challenges and Research Trends. JISA.
- [5] Vita Azrina Aulia, dkk. 2019. Analisa Perancangan Komunikasi Untuk Kendaraan Dengan Infrastruktur (V2I), Bandung: Universitas Telkom Bandung.
- [6] V. Pravalika, Ch. R. P. 2019. Internet Of Things Based Home Monitoring and Device Control Using ESP32. International Journal of Recent Technology and Engineering, 8 (1S4), pp. 58-62.
- [7] Muhammad N, Haris Y, Zunita W. 2022. Mikrokontroler ESP 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis WEB. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 6(2), pp. 767-772.
- [8] Hendra Kusumah & Restu Adi Pradana. 2019. Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler dan Internet of Things Berbasis ESP32 Pada Mata Kuliah

- Interfacing. Jurnal CERITA, 5(2), pp. 120-134.
- [9] Agus Wag yana & Rahmat. 2019. Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT). Jurnal Ilmiah Setrum, 8(2), pp. 238-247.
- [10] Alessandro Septiano W. & Theresia Ghozali. 2020. NRF24L01 Sebagai Pemancar/Penerima Untuk Wireless Sensor Network. Jurnal TEKNO, 17(1), pp. 26-34.
- [11] Upik Jamil S, Rakhmadhany P, Rizal M. 2018. Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24L01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 2(4), pp. 1510-1517.
- [12] Rendi Ramadhan Hardianto. 2017. Perancangan Web Monitoring Tempat Sampah Menggunakan Raspberry Pi Berbasis NRF24L01, Malang: Universitas Institut Teknologi Nasional Malang.
- [13] K. N. A. Wiranata, N. I. Er, G. Sukadarmika. 2024. Rancang Bangun Purwarupa Sistem Komunikasi Antar Kendaraan Menggunakan NRF24L01 Mode Simplex. Jurnal SPEKTRUM, 11(1), p. 238.
- [14] N. P. Amanda Saraswati, N. I. Er, F. Purnama. 2024. Unjuk Kerja Komunikasi Nirkabel Half-Duplex Antar Kendaraan Memanfaatkan NRF24L01. Jurnal SPEKTRUM, 11(1), p.212.
- [15] I. M. A. D. Adnyana, N. I. Er, N. Pramaita. 2024. Analisis Pengaruh Jarak Dan Kecepatan Terhadap Kinerja Sistem Komunikasi Antar Kendaraan Berbasis NRF24L01. Jurnal SPEKTRUM, 11(1), p. 197.
- [16] Sri Hartini. 2019. Revolusi Ilmiah: Global Positioning System (GPS) Sebagai Bukti Empiris Teori Relativitas. Jurnal Filsafat Indonesia, 2(1), pp. 27-32.
- [17] Data sheets Ublox NEO-M8 Concurrent GNSS Modules www.u-blox.com
- [18] Lukas Bambang Setyawan. 2018. Prinsip Kerja dan Teknologi OLED. Techne Jurnal Ilmiah Elektroteknika, 16(2), pp. 121-132.
- [19] Saktiani Karim B. 2017. Karakter Sinyal Terima GPS Untuk Aplikasi Land Mobile Satelit Pada Wilayah Rural Kabupaten Sidrap: Universitas Islam Makassar.