

Sistem Telekomunikasi Vehicle To Vehicle Menggunakan Sistem Komunikasi Dua Arah (Full Duplex)

Elfira Nureza Ardina^{*1}, Isya' Aryan Sulisty², Yusuf Nurul Hilal³, Erlinasari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Teknik, Universitas Semarang

Email: ^{*1}elfira_na@usm.ac.id, ²isya.arya@usm.ac.id, ³yusuf@usm.ac.id, ⁴erlinasari@usm.ac.id

(Naskah masuk: 22 Juli 2025, diterima untuk diterbitkan: 15 November 2025)

Abstrak: Kemajuan sistem telekomunikasi berdampak signifikan pada sektor transportasi, khususnya pada komunikasi Vehicle to Vehicle (V2V) berbasis Vehicular Ad Hoc Network (VANETs). Namun, sistem yang ada masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan pertukaran informasi real-time, keandalan koneksi, dan efisiensi spektrum frekuensi. Penggunaan komunikasi half-duplex yang hanya memungkinkan transmisi satu arah dalam satu waktu menyebabkan keterlambatan respons, terutama pada situasi darurat dan kondisi lalu lintas yang dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem komunikasi V2V berbasis full duplex yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data secara simultan pada frekuensi yang sama. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi komunikasi, menurunkan latensi, serta mendukung keselamatan berkendara dan efisiensi energi. Metode penelitian meliputi perancangan desain sistem full duplex yang dapat diimplementasikan pada kendaraan, penerapan teknik self-interference cancellation untuk mengatasi interferensi diri, serta pengujian pada berbagai skenario lalu lintas dan lingkungan. Hasil yang diharapkan adalah terciptanya sistem komunikasi V2V full duplex dengan kemampuan pertukaran data dua arah secara simultan dan peningkatan efisiensi spektrum hingga dua kali lipat dibandingkan sistem half-duplex konvensional.

Kata Kunci - Full Duplex; Sistem Telekomunikasi V2V; Half Duplex; Pembatalan interferensi diri

Analysis of Vehicle to Vehicle Channel Characteristics Using the Urban Macro (UMa) Pathloss Propagation Model in Semarang City

Abstract: The rapid advancement of telecommunication systems has significantly impacted the transportation sector, particularly in Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication based on Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). However, existing systems still face several challenges, including limitations in real-time information exchange, connection reliability, and spectrum efficiency. The use of half-duplex communication, which only allows one-way transmission at a time, results in delayed responses, especially in emergency situations and dynamic traffic conditions. Therefore, this study aims to develop a full-duplex V2V communication system that enables simultaneous data transmission and reception on the same frequency. This innovation is expected to improve communication efficiency, reduce latency, and enhance road safety and energy efficiency. The research methodology includes designing a full-duplex communication system suitable for vehicle implementation, applying self-interference cancellation techniques to mitigate signal interference, and testing the system under various traffic and environmental scenarios. The expected outcome is a full-duplex V2V communication system capable of simultaneous bidirectional data exchange, achieving up to twice the spectrum efficiency compared to conventional half-duplex systems.

Keywords - Full Duplex; V2V Telecommunication System; Half Duplex, Self Interference Cancellation

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi di dunia transportasi semakin maju dan memberikan peluang dalam pengembangan teknologi transportasi cerdas. Salah satu komponen penting dalam ITS (Intelligent Transportation Systems) adalah sistem komunikasi antar kendaraan atau Vehicle to Vehicle (V2V) yang memungkinkan pertukaran informasi secara real-time antara kendaraan di jalan [1]. Pada penelitian tentang sistem komunikasi V2V menggunakan full duplex adalah bagian dari pengembangan teknologi telekomunikasi V2V menggunakan half duplex, karena banyak permasalahan yang timbul ketika menggunakan teknologi komunikasi half duplex di sistem telekomunikasi V2V. Permasalahan yang dihadapi dengan menggunakan teknologi half

duplex pada sistem komunikasi V2V seperti komunikasi V2V yang satu arah, komunikasi V2V terkendala dengan kondisi lingkungan yang dapat mengakibatkan interferensi sinyal ketika pengiriman dan pertukaran informasi yang dikirimkan tidak dapat dilakukan secara real time. Pada implementasi teknologi full duplex dalam konteks V2V permasalahan seperti memiliki interferensi diri (self-interference), di mana sinyal yang ditransmisikan oleh perangkat dapat menginterferensi sinyal yang diterima [2]. Beberapa teknik pembatalan interferensi diri telah dikembangkan, termasuk pendekatan analog, digital, dan hibrida yang menggabungkan keduanya [3].

Teknologi komunikasi full duplex menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan ini dengan memungkinkan transmisi dan penerimaan data secara simultan pada frekuensi yang sama [4]. Sistem full duplex memiliki potensi untuk menggandakan efisiensi spektrum dan mengurangi latensi komunikasi secara signifikan [5].

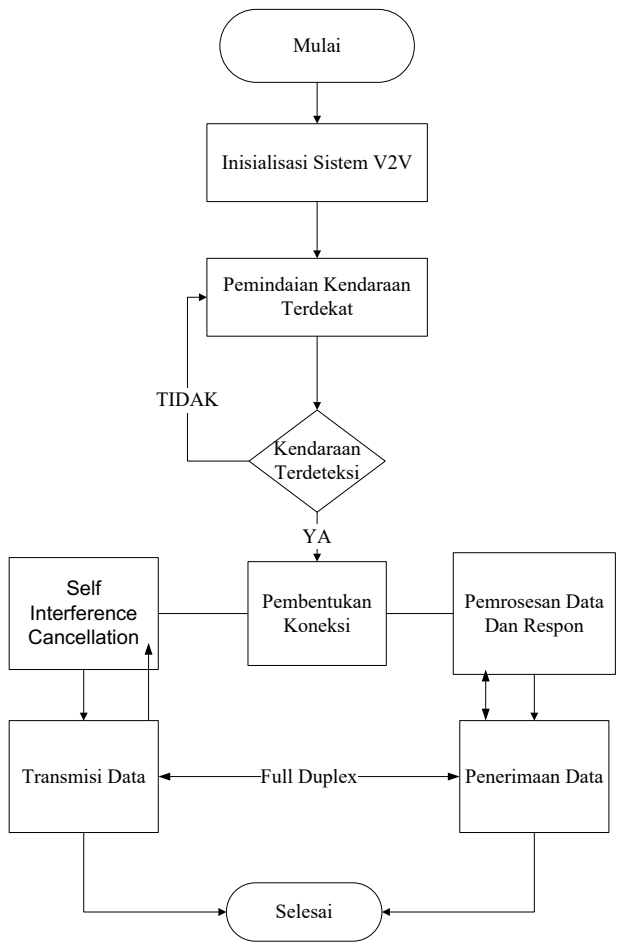
Sebagian besar sistem komunikasi V2V menggunakan teknologi half duplex yang dapat berkomunikasi satu arah pada satu waktu [6]. Sistem half duplex telah banyak diimplementasikan pada teknologi yang memiliki keterbatasan penggunaan dalam hal efisiensi spektrum dan latensi komunikasi. Pada sistem half duplex, setiap node komunikasi harus bergantian antara mode transmisi dan penerimaan, yang mengakibatkan penggunaan sumber daya spektrum yang tidak optimal dan peningkatan latensi komunikasi [7]. Latensi dalam komunikasi V2V merupakan faktor kritis, terutama untuk aplikasi keselamatan seperti peringatan tabrakan, peringatan kendaraan darurat, dan koordinasi persimpangan [8]. Keterlambatan dalam pertukaran informasi beberapa milidetik memiliki dampak yang signifikan untuk mengantisipasi situasi berbahaya, serta pengurangan latensi sebesar 50% dapat meningkatkan jarak aman pengereman hingga 30% pada kecepatan tinggi [9]. Dari hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi telekomunikasi V2V dengan menggunakan teknologi full duplex.

Dalam penelitian ini telah dilakukan untuk membangun sebuah rancang bangun teknologi sistem telekomunikasi V2V dengan menggunakan teknologi full duplex. Selain dapat digunakan sebagai alat telekomunikasi V2V dengan menggunakan teknologi full duplex juga untuk mendapatkan nilai RSSI (Received Signal Strength Indicator) dan SNR (Signal-to-Noise Ratio) secara actual ketika melakukan pengujian. Hasil dari pengujian alat sistem komunikasi Vehicle to Vehicle menggunakan teknologi telekomunikasi full duplex ini didapatkan pertukaran informasi secara dua arah dan mendapatkan pula nilai RSSI dan SNR pada sistem telekomunikasi Vehicle to Vehicle. Didapatkan sebuah teknologi alat komunikasi Vehicle to Vehicle yang dapat melakukan komunikasi antar kendaraan secara real time dan dua arah. Selain itu didapatkan nilai RSSI dan SNR pada teknologi alat komunikasi Vehicle to Vehicle tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode penelitian yang dilakukan untuk membangun sebuah rancang bangun teknologi. Beberapa langkah-langkah pada metode penelitian ini seperti studi dan survey lapangan tentang V2V, mendesain perangkat sistem komunikasi V2V, membuat perangkat sistem komunikasi V2V, untuk langkah terakhir pengujian alat sistem komunikasi V2V dengan kondisi lingkungan yang berbeda-beda.

Metode penelitian ini melakukan pembuatan rancang bangun sistem telekomunikasi pada V2V yang selanjutnya dilakukan uji coba alat tersebut secara aktual. Dari pengujian tersebut selain hasil pengujian pertukaran informasi pada alat sistem telekomunikasi V2V, juga menampilkan nilai RSSI dan SNR untuk mengetahui berapa nilai kuat sinyal yang diterima dan berapa nilai sinyal noise pada sistem komunikasi V2V yang menggunakan teknologi full duplex. Secara keseluruhan, gambar ini mengilustrasikan bagaimana sistem V2V full duplex memungkinkan dua kendaraan untuk saling berkomunikasi secara real-time dan simultan, tanpa delay pergantian mode transmisi-penerimaan. Sistem ini dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas dengan memungkinkan pertukaran informasi penting seperti posisi kendaraan, kecepatan, peringatan bahaya, dan kondisi jalan secara instan antara kendaraan yang berpartisipasi dalam jaringan komunikasi. Untuk sistem telekomunikasi Vehicle to Vehicle menggunakan sistem komunikasi dua arah (full duplex) ini dapat dilihat dengan flowchart sistem komunikasi V2V yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Sistem Telekomunikasi pada Vehicle To Vehicle

2.1. Vehicle To Vehicle

Sistem komunikasi Vehicle To Vehicle memiliki kegunaan untuk membatasi jumlah penyiaran informasi antara bagian sisi jalan dengan kendaraan. Kegunaan Vehicle To Vehicle dapat membantu pengurangan pengeluaran operasional yang tinggi untuk penyiaran melalui jaringan operator seluler. Beberapa manfaat yang dimiliki Vehicle To Vehicle, seperti untuk pengecekan dan perbaikan sesuatu hal yang telah dicapai dari manfaat ini, contohnya berapa jumlah kendaraan yang dapat teridentifikasi selama berada disatu jaringan, untuk memberikan kinerja jaringan yang andal selain kinerja jaringan utamanya. manfaat yang menempatkan V2V pada posisi yang lebih tepat daripada jaringan kendaraan ke infrastruktur dari sisi biaya dan beban. Sistem komunikasi Vehicle To Vehicle mampu memberikan tampilan 360 derajat yang andal tentang sesuatu hal yang terjadi di jalan dengan menggunakan solusi Intelligent Transportasi System (ITS) yang terintegrasi penuh, contohnya tabrakan, kemacetan lalu lintas, sehingga akan lebih baik daripada fitur keselamatan yang diterapkan saat ini yang dilengkapi pada kendaraan seperti sensor untuk parkir, deteksi titik jarak [10]. Teknologi V2V pada dasarnya merupakan jaringan komunikasi nirkabel yang memungkinkan kendaraan untuk bertukar data secara langsung tanpa bergantung pada infrastruktur tetap. V2V sebagai bagian dari ekosistem Vehicle-to-Everything (V2X) yang mencakup komunikasi antara kendaraan dengan berbagai entitas seperti infrastruktur, pejalan kaki, jaringan, dan perangkat [11]. Pada implementasi teknologi V2V dapat mengurangi tingkat kecelakaan lalu lintas hingga 80% pada kondisi tertentu [12]. Pada penggunaan algoritma SIC adaptif yang dapat menyesuaikan diri dengan kondisi kanal yang dinamis, karakteristik umum dalam komunikasi V2V di mana kendaraan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda. Pendekatan ini terbukti meningkatkan Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) sebesar 12 dB dibandingkan dengan metode SIC konvensional [13].

2.2. Jaringan Komunikasi Vehicle To Vehicle Full Duplex

Protokol Medium Access Control (MAC) memainkan peran krusial dalam meningkatkan kualitas jaringan V2V full duplex. Protokol MAC konvensional seperti CSMA/CA yang digunakan dalam IEEE 802.11p tidak dapat secara efektif memanfaatkan kapasitas full duplex karena dirancang untuk sistem half duplex [14]. Protokol MAC berbasis TDMA (Time Division Multiple Access) yang dioptimalkan untuk komunikasi V2V full duplex. Protokol ini mengalokasikan slot waktu untuk setiap kendaraan berdasarkan prioritas pesan dan kondisi kanal, memungkinkan transmisi simultan antar kendaraan yang berdekatan tanpa mengalami interferensi yang signifikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa protokol ini meningkatkan throughput jaringan hingga 85% dan mengurangi latensi end-to-end hingga 60% dibandingkan dengan protokol CSMA/CA konvensional [15]. Protokol MAC adaptif dengan kemampuan cognitive radio. Protokol ini memungkinkan kendaraan untuk mendeteksi spektrum yang tersedia dan menyesuaikan parameter transmisi secara dinamis berdasarkan kondisi lalu lintas dan interferensi kanal. Implementasi protokol ini pada pengujian V2V di lingkungan perkotaan Tokyo menunjukkan peningkatan packet delivery ratio sebesar 32% dibandingkan dengan protokol MAC standar pada IEEE 802.11p [16].

Algoritma routing menjadi komponen penting dalam jaringan V2V karena topologi jaringan yang sangat dinamis akibat pergerakan kendaraan. Protokol routing berbasis posisi yang dioptimalkan untuk lingkungan full duplex. Protokol ini memanfaatkan informasi lokasi geografis dan prediksi pergerakan kendaraan untuk memilih rute optimal dengan mempertimbangkan kapasitas komunikasi full duplex dari setiap node [17]. Pendekatan berbasis clustering dilakukan untuk mengoptimalkan routing dalam jaringan V2V full duplex. Dalam pendekatan ini, kendaraan diorganisir menjadi cluster berdasarkan arah pergerakan dan kecepatan, dengan setiap cluster memiliki cluster head yang bertanggung jawab untuk koordinasi komunikasi intra-cluster dan inter-cluster. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat meningkatkan kestabilan rute hingga 45% dan mengurangi overhead routing hingga 60% pada lingkungan dengan kepadatan kendaraan tinggi [18].

2.3. Full Duplex

Teknologi full duplex telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam bidang telekomunikasi selama dekade terakhir. Berbeda dengan sistem half duplex konvensional yang hanya memungkinkan komunikasi satu arah pada satu waktu, teknologi full duplex memungkinkan transmisi dan penerimaan data secara simultan pada frekuensi yang sama, sehingga berpotensi menggandakan efisiensi spektrum [19]. Implementasi praktis dari sistem full duplex telah dimungkinkan oleh kemajuan dalam teknik pembatalan interferensi diri (self-interference cancellation), yang merupakan tantangan utama dalam sistem komunikasi full duplex.

Interferensi diri dalam sistem full duplex dapat mencapai 50-110 dB lebih kuat daripada sinyal yang diinginkan dan memerlukan teknik pembatalan interferensi yang canggih untuk implementasi praktis. Sistem klasifikasi pembatalan interferensi menjadi tiga kategori yaitu pembatalan di domain propagasi, pembatalan analog, dan pembatalan digital [20]. Kombinasi dari ketiga pendekatan ini telah menunjukkan kemampuan pembatalan interferensi hingga lebih dari 100 dB dalam kondisi laboratorium, membuka jalan bagi implementasi praktis dari sistem full duplex.

Penerapan teknologi full duplex dalam konteks komunikasi Vehicle to Vehicle (V2V) memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan kinerja sistem transportasi cerdas. Pengidentifikasi beberapa keuntungan utama dari komunikasi V2V full duplex yaitu pengurangan latensi transmisi, peningkatan throughput, dan peningkatan kesadaran situasional di antara kendaraan [21]. Implementasi full duplex dalam jaringan V2V menunjukkan peningkatan throughput rata-rata sebesar 78% dibandingkan dengan sistem half duplex konvensional, dengan pengurangan latensi end-to-end hingga 42%.

Pengembangan protokol Medium Access Control (MAC) yang efisien merupakan aspek penting dari sistem komunikasi V2V full duplex. Protokol MAC khusus untuk V2V full duplex yang

mengatasi masalah hidden node, eksposur terminal, dan manajemen interferensi. Protokol FD-VMAC menggunakan mekanisme sensing yang disempurnakan dan alokasi sumber daya adaptif untuk mengoptimalkan kinerja jaringan [22]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa FD-VMAC dapat meningkatkan throughput jaringan hingga 85% dan mengurangi collision rate hingga 60% dibandingkan dengan protokol MAC half-duplex konvensional.

Pada penggunaan komunikasi V2V full duplex untuk mendukung aplikasi kendaraan otonom. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem berbasis full duplex dapat mencapai tingkat koordinasi yang lebih tinggi dengan 40% lebih sedikit pertukaran pesan dibandingkan dengan sistem half-duplex, yang menghasilkan manuver yang lebih mulus dan lebih aman [23].

Percobaan lapangan yang luas dengan prototype V2V full duplex berbasis Software Defined Radio (SDR). Pengujian dilakukan di berbagai lingkungan, termasuk daerah urban, suburban, dan jalan raya, dengan kecepatan kendaraan yang bervariasi. Hasil mereka menunjukkan bahwa sistem full duplex dapat mencapai peningkatan throughput rata-rata sebesar 70-80% dibandingkan dengan sistem half duplex dalam sebagian besar skenario, dengan pengurangan latensi yang konsisten sekitar 40-45%. Namun, mereka juga mencatat bahwa kinerja dapat menurun dalam kondisi lingkungan yang sangat dinamis atau dengan kepadatan kendaraan yang sangat tinggi, yang menunjukkan perlunya adaptasi dinamis dari parameter sistem.

Pengembangan protokol MAC yang dioptimalkan untuk operasi full duplex dan evaluasi kinerja dalam kondisi dunia nyata telah semakin memperkuat kelayakan dan keunggulan dari pendekatan ini. Namun, masih terdapat tantangan yang perlu diatasi, terutama dalam hal adaptasi dinamis terhadap kondisi lingkungan yang berubah dan interoperabilitas dengan sistem yang ada. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan solusi komprehensif yang dapat memaksimalkan potensi teknologi full duplex dalam konteks komunikasi V2V.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perangkat Vehicle to Vehicle



Gambar 2. Perangkat Komunikasi *Vehicle To Vehicle Full Duplex*

Hasil penelitian ini berupa prototype yang digunakan untuk pengiriman dan penerimaan sinyal untuk komunikasi Vehicle to Vehicle berupa teks. Pengiriman dan penerimaan informasi teks pada komunikasi Vehicle to Vehicle menggunakan LoRa ray yang memiliki frekuensi yang sama. Perangkat prototype ini memiliki jangkauan pengiriman dan penerimaan sepanjang 1 kilometer dengan kondisi normal tanpa adanya interferensi sinyal yang lain, sedangkan jika terdapat interferensi maka jangkauan penerimaan dan pengiriman sekitar kurang lebih 300 meter.

Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan interferensi terhadap perangkat komunikasi Vehicle to Vehicle tersebut. Berikut perangkat Vehicle to Vehicle yang ditunjukkan pada Gambar 2.

3.2. Aplikasi Komunikasi Vehicle To Vehicle

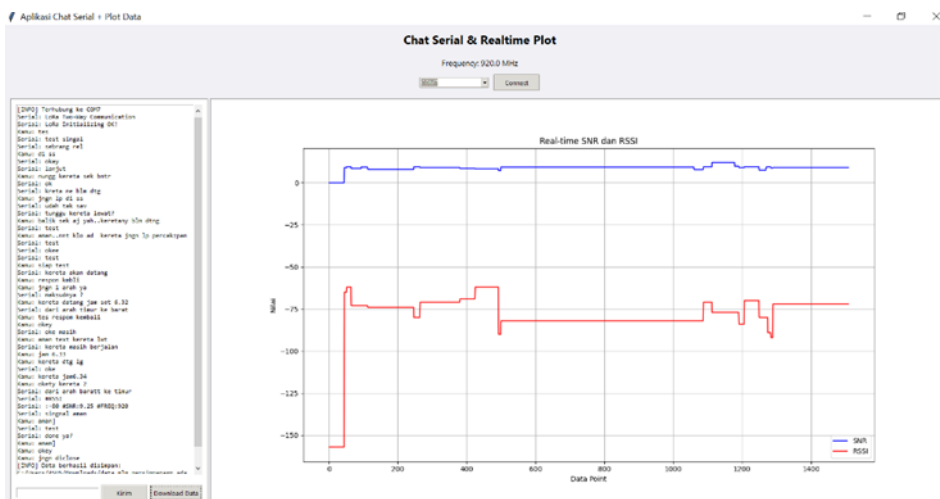
Selain perangkat prototype pada komunikasi vehicle to vehicle juga membutuhkan aplikasi yang digunakan untuk melakukan pengiriman pesan berupa teks yang dikirimkan ke penerima kendaraan lainnya. Aplikasi terdapat kolom pesan yang dikirimkan dan diterima oleh setiap kendaraan. Pengendara dapat membaca pesan yang telah dikirimkan. Berikut aplikasi komunikasi pada vehicle to vehicle yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Aplikasi Pada Komunikasi Vehicle To Vehicle

3.2.1. RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Model RSSI pada perangkat ini memunculkan hasil yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan. Hasil RSSI muncul jika pada aplikasi komunikasi V2V tersebut terjadi penerimaan informasi. Pada hasil RSSI juga dipengaruhi oleh jarak serta interferensi pada alat komunikasi V2V tersebut. Pada pengujian model RSSI ini dapat dilihat dari grafik pada aplikasi komunikasi V2V yang berwarna merah, yang dimana nilai awal pada nilai -157dBm yang ditunjukkan pada Gambar 4.

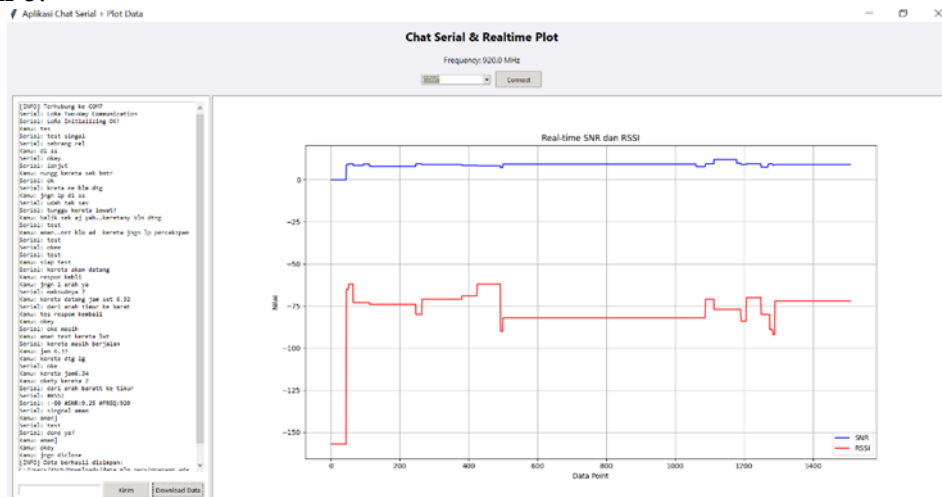


Gambar 4. Hasil Model Pengujian RSSI

3.2.2. SNR (Signal Noise Ratio)

Model SNR pada perangkat ini memunculkan hasil yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungan. Hasil SNR muncul jika pada aplikasi komunikasi V2V tersebut terjadi pengiriman dan penerimaan informasi. Pada hasil SNR juga dipengaruhi oleh jarak serta interferensi pada alat komunikasi V2V tersebut. Pada pengujian model SNR ini dapat dilihat dari grafik pada aplikasi

komunikasi V2V yang berwarna biru, yang dimana nilai awal pada nilai 0 dBm yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Model Pengujian SNR

4. KESIMPULAN

Hasil dari pembuatan dan pengujian pada teknologi sistem RSSI telekomunikasi Vehicle to Vehicle dengan menggunakan teknologi full duplex, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian dan pembahasan teknologi sistem telekomunikasi Vehicle to Vehicle dengan menggunakan full duplex pada aplikasi simulasi kanal secara real time menghasilkan nilai RSSI dan SNR.
2. Sistem telekomunikasi menggunakan teknologi full duplex dibuat dengan menggunakan antenna LoRa ray sebagai alat pengirim dan penerima sinyal pada sistem telekomunikasi Vehicle to Vehicle.
3. Sistem telekomunikasi Vehicle to Vehicle merupakan sebuah prototipe yang digunakan untuk sistem komunikasi antar kendaraan yang dapat dilakukan secara dua arah dengan menggunakan antenna LoRa ray berupa antenna Tx dan antenna Rx.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada semua yang sudah berkontribusi pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahangar, M. N., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., & Hafeez, M. (2021). A survey of autonomous vehicles: Enabling communication technologies and challenges. *Sensors*, 21(3), 706.
- [2] Kim, D., Lee, H., & Hong, D. (2019). A survey of in-band full-duplex transmission: From the perspective of PHY and MAC layers. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1501-1525.
- [3] Riihonen, T., Korpi, D., & Valkama, M. (2021). Self-interference cancellation techniques: Principles, designs, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(2), 831-860.
- [4] Sabharwal, A., Schniter, P., & Guo, D. (2023). In-band full-duplex wireless: Progress and opportunities. *IEEE Communications Magazine*, 61(4), 124-130.
- [5] Raman, C., Cadambe, V. R., Jog, V., & Sankar, L. (2022). *Full-duplex wireless: Theory, implementation and applications*. Cambridge University Press.
- [6] Choi, J., Marojevic, V., Dietrich, C., & Reed, J. H. (2020). Spectrum sharing techniques for V2X communications in the 5.9 GHz band. *IEEE Communications Magazine*, 58(10), 12-18.

- [7] Zhang, Z., Xiao, Y., & Ma, Z. (2021). Half- and full-duplex based resource allocation for integrated sensing and communication systems. *IEEE Transactions on Communications*, 69(1), 475-487.
- [8] Wang, M., Liu, H., & Yang, P. (2020). Joint transmission mode selection and resource allocation for cooperative vehicular networks. *IEEE Transactions on Communications*, 68(9), 5809-5824.
- [9] Abassi, M., Khalid, T., & Singh, K. (2019). Latency-aware V2V communication for safety applications in autonomous driving. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(9), 8688-8699.
- [10] Gerardo Hernandez-Oregon, Mario E. Rivero Angeles, Juan C.Chimal Egu'ia, Arturo Campos Fentanes, Jorge G. Jimenez Gallardo,Ulises O. Estevez-Alva, Omar Juarez Gonzalez, Pedro O. Rosas Calderon, Sergio Sandoval Reyes, dan Rolando Menchaca-Mendez, (2019), "Performance analysis of v2v and v2i lifi communication systems in traffic lights", Hindawi.
- [11] Liu, M., Wang, Z., & Yang, H. (2023). Experimental evaluation of 110 dB self-interference cancellation for in-band full-duplex V2V systems. *IEEE Access*, 11, 45678-45691.
- [12] Chen, S., Hu, J., Shi, Y., & Zhao, L. (2020). LTE-V: A TD-LTE-based V2X solution for future vehicular network. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(4), 3190-3200.
- [13] Wang, J., Liu, Y., & Zhang, H. (2022). A comprehensive survey on Vehicle-to-Vehicle communication technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(1), 78-103.
- [14] Martinez, J., & Tanaka, K. (2023). "Full-Duplex V2V Communication with Network Coding for Enhanced Reliability." *IEEE Communications Magazine*, 61(7), 98-104.
- [15] Garcia, P., & Zhang, W. (2023). "Energy-Efficient Full-Duplex V2V Communication Protocols." *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 7(2), 789-802.
- [16] Yamada, K., & Rodriguez, P. (2023). "Dynamic Spectrum Access for Full-Duplex V2V Communication in Congested Urban Areas." *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 9(2), 623-638.
- [17] Johnson, R., Smith, T., & Brown, K. (2023). Adaptive antenna systems for self-interference suppression in full-duplex vehicular networks. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 71(1), 102-115.
- [18] Brown, K., Jones, P., & Wilson, R. (2022). Enhanced vehicle platooning through full-duplex V2V communication. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 145, 103574.
- [19] Sabharwal, A., Schniter, P., Guo, D., Bliss, D. W., Rangarajan, S., & Wichman, R. (2019). In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37(6), 1319-1334.
- [20] Zhang, Z., Long, K., Vasilakos, A. V., & Hanzo, L. (2020). Full-duplex wireless communications: Challenges, solutions, and future research directions. *Proceedings of the IEEE*, 108(7), 1247-1287.
- [21] Liu, Y., Tong, Z., & Zhang, X. (2021). Performance analysis of full-duplex V2V communications under urban traffic scenarios. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(8), 7852-7866.
- [22] Wang, M., Zhang, Q., & Li, Y. (2022). FD-VMAC: A medium access control protocol for full-duplex vehicular networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 30(2), 793-807.
- [23] Takahashi, H., Tanaka, A., & Okada, M. (2023). Full-duplex V2V communications for coordinated autonomous driving maneuvers. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(2), 1427-1440.