

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI STASIUN PENGENDALI DARAT UNTUK ROBOT BERGERAK PEMUNGUT SAMPAH BERBASIS KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK

1st Ilham Ghani

D3 Teknologi Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ilhamghani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis, S. SI., MT

D3 Teknologi Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dennydarlis@telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartaman, S.T., M.T.

D3 Teknologi Telekomunikasi
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

arishartaman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Masalah sampah yang terus berkembang akibat kurangnya kesadaran masyarakat mendorong perlunya solusi otomatis dan efisien dalam penanganannya. Tugas Akhir ini menghadirkan sebuah sistem kendali berbasis cahaya tampak (Visible Light Communication/VLC) yang diterapkan pada Ground Control Station (GCS) untuk mengarahkan pergerakan robot pemungut sampah. Sistem memanfaatkan komunikasi VLC menggunakan RS485 sebagai media transmisi data antara GCS dan robot, yang dijalankan melalui Raspberry Pi dengan protokol RS485 sebagai pengirim perintah, sedangkan antarmuka pengguna berbasis Node-RED memungkinkan operator memberikan kontrol arah dan kecepatan secara intuitif. Proses pengembangan meliputi perancangan rangkaian komunikasi VLC, pemrograman logika kendali robot, integrasi antar perangkat keras, serta pengujian sistem dalam kondisi nyata. Robot dirancang untuk merespons sinyal cahaya sebagai instruksi gerak seperti maju, mundur, belok, dan berhenti sesuai dengan masukan dari GCS, dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil dan akurat dalam menerima serta mengeksekusi perintah melalui sinyal cahaya dengan delay rata-rata 1–2 detik dan tingkat keberhasilan eksekusi perintah mencapai 85 persen, sementara dashboard dapat menampilkan data sensor secara akurat meskipun sistem monitoring robot masih terbatas hanya dalam bentuk grafik tanpa dilengkapi visualisasi lokasi atau peta pergerakan robot.

Kata kunci— Komunikasi Cahaya Tampak, Ground Control Station (GCS), Robot Pemungut Sampah, Raspberry Pi, Node-RED, Sistem Pengendali Robot.

I. PENDAHULUAN

Kurangnya perhatian masyarakat terhadap kebersihan lingkungan menyebabkan masalah sampah tetap menjadi tantangan serius bagi pemerintah. Sampah yang tidak dikelola dengan baik menimbulkan bau tidak sedap, penyebaran penyakit, serta menyumbat saluran pembuangan dan sungai. Oleh karena itu, partisipasi masyarakat sangat diperlukan untuk menciptakan lingkungan bersih dan sehat[1].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diciptakan Robot Bergerak Pemungut Sampah sebagai inovasi yang membantu pengumpulan sampah secara lebih efisien. Agar robot dapat beroperasi efektif, diperlukan sistem komunikasi yang terintegrasi dengan *Ground Control Station* (GCS),

sehingga robot bisa dikendalikan dari jarak jauh melalui internet.

Penelitian lain berfokus pada sistem IoT berbasis MQTT dan Node-RED dengan komunikasi penuh melalui Wi-Fi [2]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, tugas akhir ini menggabungkan komunikasi Visible Light Communication (VLC) untuk pengiriman perintah ke FPGA serta Wi-Fi dengan broker HiveMQ MQTT melalui Raspberry Pi yang menjalankan Node-RED. Dari sisi perangkat keras, penelitian terdahulu menggunakan ESP32 untuk sensor dan aktuator sederhana, sedangkan tugas akhir ini memanfaatkan FPGA untuk mengendalikan motor DC, driver motor, dan aktuator lengan robot.

II. KAJIAN TEORI

A. Robot Bergerak

Robot bergerak merupakan salah satu jenis robot yang banyak diaplikasikan di luar sektor industri. Kehadirannya tidak hanya dimanfaatkan sebagai sarana transportasi, tetapi juga digunakan dalam bidang hiburan maupun permainan interaktif [3]. Popularitasnya didorong oleh kemampuannya untuk beroperasi secara dinamis di berbagai medan, fleksibilitas desain yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, serta kemajuan teknologi sensor dan kendali yang membuat interaksi dengan pengguna menjadi lebih responsif dan realistis.

B. Dashboard

Dashboard merupakan sebuah perangkat yang dapat menyajikan tampilan secara visual agar pengguna lebih mudah memahami sejumlah informasi. Dengan penggunaan dashboard, pengguna dapat mengakses informasi dengan lebih cepat. Dashboard mengolah sejumlah informasi dan menyajikannya dalam gaya visual yang lebih gampang dipahami oleh pengguna. Gaya visual itu bisa berupa diagram, ilustrasi, atau teks [4]. Dashboard tidak sekadar menampilkan data dalam bentuk visual, tetapi juga mengatur informasi yang rumit ke dalam format yang singkat dan mudah dipahami. Ini memungkinkan pengguna untuk dengan cepat dan efisien mengidentifikasi perbandingan data. Seringkali, dashboard berfungsi sebagai alat bantu dalam proses pengambilan keputusan karena dapat menunjukkan data secara langsung atau hampir langsung.

C. Ground Control Station (GCS)

Ground Control Station (GCS) adalah stasiun pemantauan dimana operator atau pengguna dapat memantau kondisi dan aktivitas yang sedang dilakukan Robot yang telah dirancang. Selain untuk memantau kondisi dan aktivitas pada robot, *Ground control station* berperan sebagai lokasi untuk memantau video yang dihasilkan oleh *transceiver* [5].

Lebih dari sekadar tampilan visual, GCS juga berfungsi sebagai pusat pengendali utama yang memungkinkan interaksi dua arah antara manusia dan robot. Selain itu GCS dapat menampilkan umpan balik data dari robot, seperti status sensor, kondisi sistem, hingga tampilan video atau gambar jika terdapat sistem visual. Dengan demikian, GCS menjembatani antara kecanggihan sistem robotik dengan kebutuhan interaksi pengguna secara praktis dan efisien.

D. Node-Red

Node Red merupakan software pengembangan website berbasis aliran untuk menghubungkan perangkat keras seperti Iot dengan berbagai penyimpanan sebagai jembatan penghubung antar perangkat IoT dengan Node Red seperti protokol MQTT, yang merupakan protokol pesan berbasis standar yang digunakan untuk komunikasi antara mesin ke mesin [6]. node red juga dapat membuat aplikasi Internet of Things (IoT) yang memiliki lingkungan pemrograman intuitif yang memungkinkan pengguna membuat aplikasi dengan mudah sebagai flow. Flow ini dibentuk oleh node-node yang saling berhubungan, dimana setiap node melakukan tugas-tugas tertentu. Meskipun Node-Red dirancang untuk *Internet of Things* (IoT), Node-Red juga dapat digunakan untuk tujuan umum dan berbagai aplikasi [7].

E. RaspberryPi

Raspberry Pi dapat digunakan untuk mengendalikan lebih dari satu perangkat, baik dari jarak dekat maupun jauh. Berbeda dari mikrokontroler, Raspberry Pi mampu mengontrol lebih dari satu unit perangkat sekaligus. Dalam mengendalikan unit perangkat yang ingin diatur, Raspberry Pi memanfaatkan bahasa pemrograman Python. Raspberry Pi menjalankan sistem operasi Raspbian. Raspberry Pi dilengkapi dengan prosesor Quad-Core ARM Cortex-A53 dan GPU Dual Core VideoCore IV. Raspberry Pi memiliki beberapa fitur, termasuk Micro SD sebagai media penyimpanan, port USB, port Ethernet, Audio Video Output, HDMI Video, CPU 400-700 MHz, dan yang paling penting, Raspberry Pi memiliki pin GPIO yang berguna untuk berinteraksi dengan berbagai perangkat elektronik. Berikut adalah gambar tentang penampilan fisik Raspberry Pi 3 Model B [8].

F. Local Server

Server lokal adalah sistem yang berfungsi untuk menyimpan serta mengelola data secara mandiri tanpa bergantung pada koneksi internet. Akses terhadap server ini umumnya terbatas pada perangkat atau pengguna yang berada dalam jaringan lokal, termasuk pemilik atau administrator yang mengoperasikannya melalui alamat *localhost* [9]. Penggunaan server lokal memberikan keuntungan dalam hal keamanan data, karena seluruh proses penyimpanan dan pengolahan dilakukan di dalam jaringan tertutup sehingga risiko kebocoran informasi dapat

diminimalkan. Selain itu, akses yang tidak bergantung pada koneksi internet membuat sistem tetap dapat beroperasi secara stabil meskipun terjadi gangguan jaringan eksternal. Hal ini menjadikan server lokal banyak digunakan pada aplikasi yang memerlukan kendali penuh atas data dan ketersediaan layanan yang konsisten.

G. MQTT

MQTT merupakan protokol pertukaran pesan terdistribusi yang dirancang untuk mendukung komunikasi yang efisien antarperangkat pada ekosistem *Internet of Things* (IoT). Keunggulan utama protokol ini terletak pada kemampuannya menjaga efisiensi dan keandalan proses pengiriman data, bahkan pada jaringan dengan sumber daya terbatas. Dalam penerapannya di lingkungan IoT, MQTT mampu memberikan kinerja optimal, terutama dalam mengirimkan notifikasi secara real-time pada sistem yang memiliki arsitektur terdistribusi [10].

III. METODE

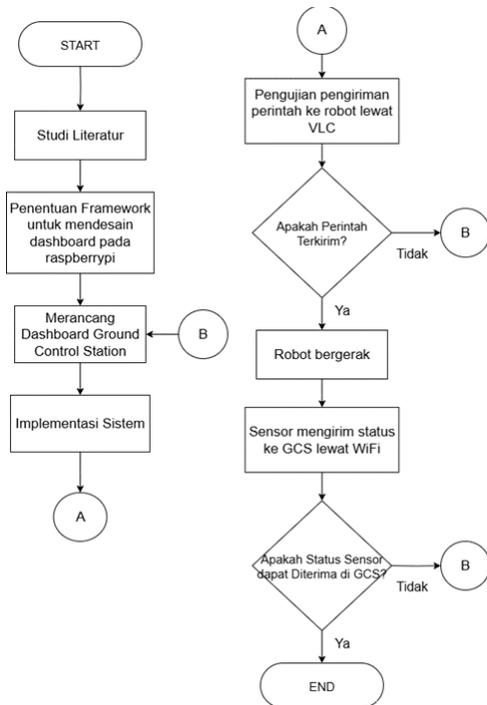
Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental dengan yaitu dengan melakukan perancangan, pengujian, dan evaluasi secara langsung terhadap dashboard hingga diperoleh sistem kendali dan pemantauan robot yang sesuai dengan kebutuhan.

A. Arsitektur Sistem

Dalam sistem Robot Pemungut Sampah Otomatis berbasis IoT, *Ground Control Station* (GCS) berperan sebagai pusat kendali dan pemantauan utama yang menghubungkan pengguna dengan robot secara real-time. Raspberry Pi dipilih sebagai inti GCS karena memiliki kemampuan pemrosesan yang memadai dalam bentuk perangkat yang ringkas, hemat daya, dan ekonomis. Pada sistem ini, Raspberry Pi menjalankan broker MQTT menggunakan HiveMQ untuk menghubungkan komunikasi data antara robot dan GCS melalui protokol MQTT yang ringan dan efisien, sehingga data sensor seperti jarak dari ultrasonik maupun status pergerakan dapat dikirim dan diterima secara langsung melalui jaringan Wi-Fi. Selain itu, Raspberry Pi juga berfungsi sebagai server lokal yang mengoperasikan Node-RED, sebuah platform berbasis web untuk membangun *dashboard* interaktif. Node-RED dirancang dengan antarmuka pengembangan yang intuitif, sehingga pengguna dapat melakukan proses dragging, dropping, serta menghubungkan node melalui kabel virtual. Platform ini juga mendukung impor *widget* menggunakan kode JavaScript, yang mempermudah penambahan fitur visual dan fungsionalitas [11]. Dengan dukungan ini, dashboard tidak hanya menyajikan tampilan visual yang ramah pengguna, tetapi juga memungkinkan pengendalian manual seperti mengarahkan pergerakan atau menghentikan robot sesuai kebutuhan. Keunggulan Raspberry Pi terletak pada fleksibilitasnya dalam mengintegrasikan komunikasi, pengolahan data, dan penyajian informasi grafis secara simultan, sehingga sistem GCS dapat berjalan efisien, adaptif, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi kecerdasan buatan untuk analisis data sensor maupun otomatisasi kendali robot di masa depan.

B. Tahapan perencanaan

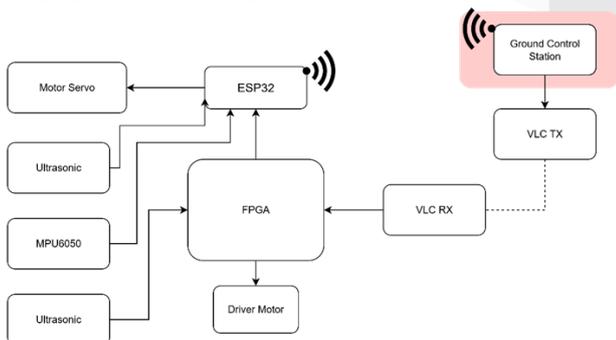
Untuk memahami alur kerja sistem yang dirancang, diperlukan gambaran proses dari awal perancangan hingga implementasi. Diagram ini memvisualisasikan hubungan antara tahapan perancangan, pengujian, dan implementasi sistem agar lebih mudah dipahami secara menyeluruh.



Gambar 1.
Alur Perencanaan Sistem

C. Pemodelan Sistem

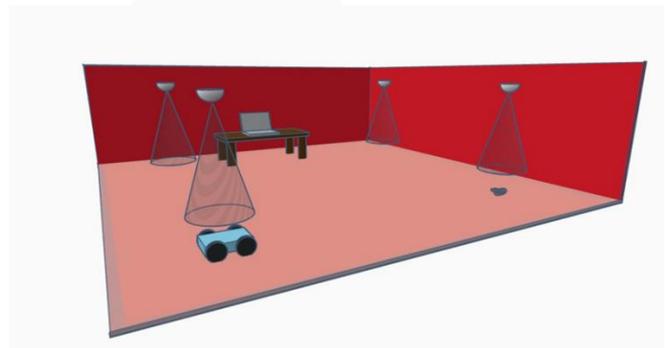
Pada sistem ini, *Ground Control Station (GCS)* memiliki peran utama sebagai pusat kendali dan pemantauan robot. GCS dirancang menggunakan Raspberry Pi dengan Node-RED sebagai *framework* dashboard, sehingga memungkinkan pengguna mengirim perintah kendali robot melalui antarmuka yang interaktif. Perintah dari GCS dikirimkan ke pemancar VLC (VLC TX), lalu diterima oleh penerima VLC (VLC RX) yang terhubung dengan FPGA sebagai pengendali utama robot. Selain itu, GCS juga menerima data balik dari robot melalui komunikasi Wi-Fi yang dikirimkan oleh ESP32, meliputi informasi dari sensor ultrasonik maupun sensor MPU6050. Dengan mekanisme ini, GCS berfungsi ganda, yaitu sebagai pengirim perintah dan sebagai pusat monitoring status robot.



Gambar 2
Permodelan Sistem

D. Skenario Sistem

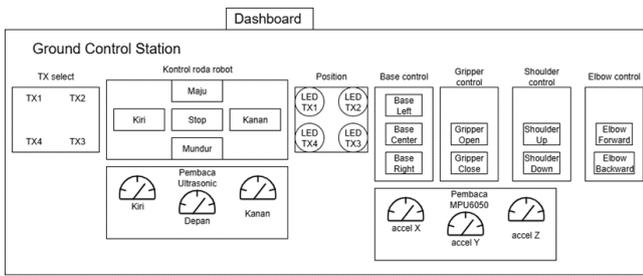
Pada sistem ini, robot dikendalikan secara real-time oleh *Ground Control Station (GCS)* menggunakan media komunikasi cahaya tampak (*Visible Light Communication/VLC*). GCS mengirimkan perintah kendali melalui lampu VLC *Transmitter (TX1–TX4)* yang dipasang di setiap sudut ruangan, sehingga masing-masing lampu mencakup area jangkauan tertentu. Robot yang dilengkapi modul VLC *Receiver (RX)* akan menerima sinyal dari lampu terdekat, kemudian data tersebut diproses oleh FPGA untuk menggerakkan motor melalui driver motor sesuai instruksi yang diberikan, seperti maju, mundur, maupun berbelok. Ketika robot bergerak dari satu titik ke titik lain, komunikasi tetap terjaga karena VLC RX akan otomatis menangkap sinyal dari lampu TX yang berada dalam jangkauannya. Pada saat robot mendeteksi keberadaan sampah menggunakan sensor ultrasonik, FPGA akan mengidentifikasi objek tersebut sebagai target yang harus diambil. FPGA kemudian memberikan instruksi kepada motor servo untuk menggerakkan lengan robot agar dapat mengambil sampah. Selama proses berlangsung, data status robot, termasuk informasi pergerakan maupun keberhasilan dalam mengambil sampah, dikirimkan kembali ke *Ground Control Station* melalui ESP32 dengan komunikasi berbasis WiFi. Dengan alur ini, sistem mampu memastikan bahwa robot dapat bergerak, menerima perintah, mendeteksi, dan mengambil sampah secara terintegrasi serta dapat dipantau secara langsung oleh operator.



Gambar 3
Skenario Sistem

E. Perancangan Antarmuka Sistem

Antarmuka *Ground Control Station (GCS)* dirancang agar seluruh fungsi robot dapat dikendalikan melalui satu dashboard terpadu. Fitur utamanya mencakup TX Select untuk memilih kanal komunikasi, Kontrol Roda untuk navigasi, indikator LED sebagai penanda status, serta kontrol lengan robot meliputi base, gripper, shoulder, dan elbow. Dashboard juga dilengkapi Ultrasonic Reader untuk pemantauan jarak dan sensor MPU6050 untuk membaca orientasi robot. Dengan rancangan ini, operator dapat mengendalikan dan memantau robot secara cepat, efisien, dan responsif di lapangan.



Gambar 4
Perancangan Antarmuka Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

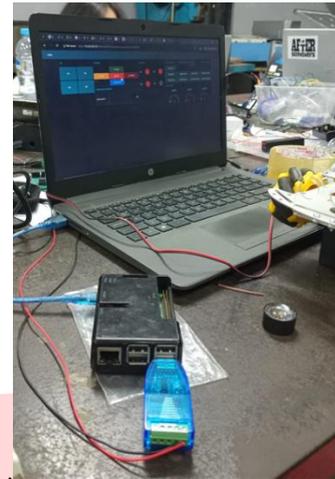
Implementasi dari perancangan dashboard Ground Control Station (GCS) ini diwujudkan dalam bentuk tampilan antarmuka Node-RED yang terintegrasi dengan berbagai fitur kendali dan monitoring robot. Dashboard dilengkapi dengan menu TX Select untuk memilih jalur komunikasi, kontrol roda (maju, mundur, kiri, kanan, stop) untuk navigasi, serta indikator posisi TX. Selain itu, tersedia modul kontrol lengan robot yang terdiri dari base, gripper, shoulder, dan elbow, sehingga seluruh gerakan robot dapat diatur secara terpusat (Gambar 5).



Gambar 5
Hasil Perancangan Dashboard *Ground Control Station*

Untuk memperjelas rancangan dan implementasi sistem, berikut ditampilkan hasil penerapan Ground Control Station (GCS) pada perangkat keras yang telah dibangun. Gambar 5 menunjukkan tampilan dashboard Node-RED yang dijalankan pada laptop, di mana antarmuka ini berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus pemantauan kondisi robot secara real-time. Dashboard tersebut menampilkan status sensor, tombol kendali arah, serta pengaturan lengan robot yang semuanya dapat diakses secara langsung oleh pengguna melalui jaringan. Sementara itu, Gambar 6 memperlihatkan konfigurasi komunikasi antara perangkat keras dengan sistem kendali, yakni penggunaan konverter USB to RS485 yang dipasang pada Raspberry Pi. Konverter ini berperan penting sebagai media penghubung antara dashboard GCS dan sistem robot, sehingga perintah yang dikirimkan dari Node-RED dapat diteruskan melalui jalur komunikasi RS485 ke pemancar VLC sebelum akhirnya diterima oleh robot. Dengan rancangan ini, sistem mampu mengintegrasikan kendali perangkat lunak dan perangkat keras secara selaras

sehingga mendukung performa robot dalam melaksanakan perintah.



GAMBAR 6
Implementasi *Dashboard* kendali dengan RS485

B. Pengujian Sistem

Pengujian penerimaan perintah dilakukan terhadap 13 jenis kendali dengan total 130 pengiriman, dan diperoleh 117 perintah berhasil diterima sehingga tingkat keberhasilan mencapai 90%. Kegagalan hanya terjadi pada percobaan pertama akibat sinkronisasi awal yang belum stabil serta gangguan pencahayaan pada komunikasi VLC. Setelah sudut lampu dan kondisi cahaya diatur optimal, seluruh perintah berikutnya dapat diterima dengan baik tanpa kehilangan data.

Tabel 1
Pengujian Pengiriman Data

Percobaan Pengiriman	Data Yang Dikirimkan	Status data terkirim ke lampu	Status data diterima robot
Ke -1	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Belum Diterima
Ke-2	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-3	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-4	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-5	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-6	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right,	Terkirim	Diterima

	Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward		
Ke-7	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-8	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-9	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima
Ke-10	Maju, Mundur, Kanan, Kiri, Base Left, Base Right, Gripper Open, Gripper Close, Shoulder Up, Shoulder Down, Elbow Forward, Elbow Backward	Terkirim	Diterima

Tabel 2
Hasil Pengujian Penerimaan Data Sensor

Percobaan Penerimaan	Timestamp	Jenis Data Sensor	Status Data Diterima
Ke-1	8:03:06 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-2	8:03:06 PM	MPU6050	Diterima
Ke-3	8:03:09 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-4	8:03:57 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-5	8:04:03 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-6	8:04:06 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-7	8:04:09 PM	MPU6050	Diterima
Ke-8	8:04:09 PM	Ultrasonik	Diterima
Ke-9	8:04:12 PM	MPU6050	Diterima
Ke-10	8:04:12 PM	Ultrasonik	Diterima

C. Pembahasan

Hasil pengujian penerimaan data sensor menunjukkan bahwa seluruh data dari sensor ultrasonik dan MPU6050 berhasil terkirim dan diterima dengan baik melalui Node-RED. Hal ini membuktikan bahwa sistem komunikasi antara sensor, mikrokontroler, dan dashboard GCS berjalan stabil serta mampu menampilkan informasi secara real time tanpa adanya gangguan.

Sementara itu, pada pengujian penerimaan perintah gerak robot yang dilakukan sebanyak sepuluh kali, sembilan kali percobaan berhasil diterima dengan baik, sedangkan percobaan pertama hanya sampai pada indikator terkirim namun belum diterima oleh robot. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh keterlambatan inisialisasi pada penerima. Dengan demikian, tingkat keberhasilan sistem mencapai 90% dan dapat ditingkatkan dengan penambahan mekanisme retransmisi data.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem dashboard pengendali robot dan pemantauan sensor berbasis Node-RED, Raspberry Pi, MQTT, RS485, dan VLC mampu bekerja optimal serta memenuhi tujuan yang telah

ditetapkan. Dashboard berhasil dirancang menggunakan Node-RED pada Raspberry Pi sebagai pusat kendali *Ground Control Station* (GCS) yang dapat menampilkan status sensor secara real time serta mengirimkan perintah ke robot melalui komunikasi RS485 ke pemancar VLC dengan tingkat keberhasilan tinggi. Robot mampu mengeksekusi perintah maju, mundur, belok, maupun kontrol gripper, elbow, dan shoulder secara konsisten, sementara data sensor ultrasonik dan MPU6050 yang dikirim melalui ESP32 menggunakan MQTT dapat diterima serta divisualisasikan pada dashboard dengan akurasi tinggi. Meski demikian, pada awal penerimaan sinyal VLC terkadang muncul data acak yang dapat memengaruhi pembacaan sensor, namun hal ini dapat diminimalisasi dengan pengaturan sudut lampu pemancar atau penambahan filter pada Node-RED. Selain itu, sistem monitoring masih terbatas pada tampilan gauge dan area kendali hanya mencakup satu ruangan dengan transmitter VLC. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan kinerja yang responsif, stabil, dan efektif dalam mengendalikan robot sekaligus memantau kondisi lingkungan secara real time, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk skala yang lebih luas.

REFERENSI

- [1] Iskandar.I, "Rancang Bangun Prototype Robot Pemungut Sampah Berbasis Arduino Mega," 2020.
- [2] W. K. Dewanto, A. seto Arifiyanto, H. Rakhmad, H. A. Putranto, and M. H. Firmansyah, "Node-RED dan Robotik pada Sistem Penyiraman Otomatis berbasis IoT," *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 6, no. 3, pp. 354–367, Nov. 2024, doi: 10.35746/jtim.v6i3.609.
- [3] P. Risma, Y. Oktarina, T. Dewi, and M. Nawawi, *Kendali Pergerakan Robot Ball Follower dengan Metode Pengolahan Citra Sederhana*. 2018.
- [4] B. D. R. Sakti, S. Lestanti, and N. S. Budiman, "PERANCANGAN DASHBOARD MONITORING PENJUALAN PADA WEBSITE PATERON.ID MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL DAN VUE JS," Blitar, Apr. 2024.
- [5] A. Setiawan, H. Wijanto, and Y. Wahyu, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA CLOVERLEAF DAN ANTENA HELIX SEBAGAI ANTENA FPV (FIRST PERSON VIEW) PADA QUADCOPTER DESIGN AND REALIZATION CLOVERLEAF ANTENNA AND HELIX ANTENNA FOR FPV (FIRST PERSON VIEW) ANTENNA IN QUADCOPTER," 2015.
- [6] I. Islamy and L. M. Wisudawati, "Sistem Monitoring Smart Garden Tanaman Cabai Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT, Node Red, dan Telegram Bot," *Jurnal Teknotan*, vol. 17, no. 3, p. 197, Dec. 2023, doi: 10.24198/jt.vol17n3.6.
- [7] R. Arief, W. Aribowo, R. Rahmadian, and A. Chandra Hermawan, "Monitoring Arus dan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan ESP8266 Berbasis Node-Red," Jul. 2023.
- [8] E. H. Wiguna and A. Subari, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KETINGGIAN AIR DAN KELEMBABAN TANAH PADA PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS DENGAN HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE)

BERBASIS RASPBERRY PI MENGGUNAKAN SOFTWARE NODE-RED,” 2017.

- [9] R. D. Amalia and E. Riyanto, “ANALISIS PENGGUNAAN LOCAL SERVER PADA PENGELOLAAN DATA SEKOLAH MENEGAH MENGGUNAKAN DELONE MCLEAN,” *Indonesian Journal of Business Intelligence (IJUBI)*, vol. 6, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.21927/ijubi.v6i1.3201.
- [10] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, “Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification,” *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, pp. 63–72, Jan. 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.

- [11] K. A. Nugroho and D. Figana, “Sistem Monitoring dan Logging pada Oxygen Concentrator Berbasis Node-RED dengan Protokol MQTT,” *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 9, no. 1, p. 1, Mar. 2023, doi: 10.19184/jaei.v9i1.33652.