

Development of a Control and Monitoring System for an IoT Rover Based on ESP32 and LoRa in Hazardous Areas

Naufal Choirul Ananda^{1*}, Joni Maulindar², Marta Ardiyanto³

^{1,2,3} Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa, Surakarta, 57154, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 19 Mei 2025
Revisi : 13 Juni 2025
Publikasi : 20 Juni 2025

Kata Kunci:

Rover IoT
ESP32
LoRa
NRF24L01
Sensor Gas

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol dan monitoring rover IoT berbasis ESP32 dan LoRa untuk eksplorasi di area berbahaya. Sistem menggunakan dua jalur komunikasi nirkabel: LoRa untuk pengiriman data sensor jarak jauh dan NRF24L01 untuk kendali real-time. Sensor MQ-6 digunakan untuk deteksi gas LPG, dan sensor ultrasonik diterapkan sebagai sistem keselamatan otomatis. Antarmuka pemantauan berbasis web dikembangkan dengan Next.js dan Supabase untuk menampilkan data secara real-time. Metode pengembangan yang digunakan adalah *prototyping*, meliputi analisis kebutuhan, desain sistem, konstruksi perangkat keras dan lunak, serta tahap pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LoRa dapat mengirimkan data secara stabil hingga jarak 15 meter tanpa hambatan, sementara NRF24L01 efektif untuk kontrol hingga 100 meter. Sensor MQ-6 memberikan hasil akurat dalam mendeteksi LPG, dan sensor ultrasonik secara konsisten menghentikan rover saat mendeteksi rintangan dalam jarak < 30 cm. Website monitoring juga menampilkan data sensor dengan baik. Sistem ini terbukti efektif dan responsif dalam mengendalikan dan memantau rover secara jarak jauh, serta berpotensi diimplementasikan pada berbagai skenario eksplorasi berisiko tinggi.

ABSTRACT

This study developed a control and monitoring system for an IoT-based rover using ESP32 and LoRa, designed for hazardous area exploration. The system integrates two wireless communication methods: LoRa for long-range sensor data transmission and NRF24L01 for real-time control. The MQ-6 sensor detects LPG gas, while ultrasonic sensors function as an automatic safety system. A web-based interface built with Next.js and Supabase displays real-time sensor data. The system was developed using a *prototyping* method that includes requirement analysis, system design, hardware and software development, and testing. Test results show that LoRa transmits data reliably up to 15 meters without obstructions, and NRF24L01 supports stable control up to 100 meters. The MQ-6 sensor accurately detects gas presence, and ultrasonic sensors consistently stop the rover when obstacles are detected within 30 cm. The monitoring website successfully presents real-time data for operator decision-making. Overall, the system is effective and responsive for remote operation in high-risk environments, with strong potential for deployment in scenarios such as gas leaks, disaster zones, or other dangerous areas.

This is an open-access article under the [CC BY-SA](#) license



*Penulis Koresponden

Email: 210103139@mhs.udb.ac.id

Cara sitasi IEEE::

N. C. Ananda, J. Maulindar, dan M. Ardiyanto, "Development of a Control and Monitoring System for an IoT Rover Based on ESP32 and LoRa in Hazardous Areas," *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (J-AISE)*, vol. 5, no. 2, p. 770-782, Juni 2025. doi:10.30811/jaise.v5i2.6962

1. PENDAHULUAN

Eksplorasi di area berbahaya, seperti lokasi bencana alam, zona radiasi, atau wilayah dengan kebocoran bahan kimia, merupakan tantangan besar dalam kegiatan penyelamatan maupun penelitian [1]. Dalam situasi tersebut, keselamatan manusia menjadi prioritas utama, sehingga diperlukan solusi teknologi yang memungkinkan aktivitas eksplorasi dilakukan dari jarak jauh tanpa membahayakan operator [2]. Salah satu solusi yang relevan adalah penggunaan *rover*, yakni robot bergerak yang dapat dikendalikan secara nirkabel untuk menjelajahi medan ekstrem dan mengumpulkan informasi penting secara real-time [3].

Namun demikian, pengembangan sistem kontrol dan monitoring pada rover menghadapi berbagai kendala teknis. Keterbatasan jangkauan pada teknologi komunikasi seperti Wi-Fi dan Bluetooth menjadi penghalang utama dalam kontrol jarak jauh [4]. Selain itu, dibutuhkan sistem keselamatan otomatis yang dapat menghentikan pergerakan rover saat mendeteksi rintangan di sekitarnya. Kompleksitas dalam integrasi antara motor penggerak, sensor, dan modul komunikasi juga menjadi tantangan yang harus diatasi agar sistem dapat bekerja secara sinkron dalam kondisi lingkungan yang dinamis dan tidak terduga.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan teknologi komunikasi jarak jauh dalam sistem robotika. Penelitian oleh Syarifan Herlukman, Dekki Widiatmoko, dan Fajar Kholid (2024) mengembangkan sistem robot penjaga yang dikendalikan dari jarak jauh menggunakan modul LoRa SX1278. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi *Line of Sight* (LOS) maupun *Non-Line of Sight* (NLOS). Namun, kinerja komunikasi terganggu oleh jumlah data yang dikirim, di mana semakin banyak data yang ditransmisikan, semakin tinggi pula tingkat keterlambatan (*delay*) yang terjadi. Namun, penelitian ini belum mengintegrasikan sistem monitoring maupun fitur keselamatan otomatis, sehingga tidak dapat digunakan untuk pengawasan lingkungan secara menyeluruh dan aman dalam konteks eksplorasi area berbahaya [5].

Selanjutnya, penelitian oleh Sartika Oktavian Puji Prameswari, Noorman Rinanto, dan rekan-rekannya (2024) mengimplementasikan integrasi protokol MQTT dengan LoRa pada sistem monitoring *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi MQTT-LoRa mampu meningkatkan efisiensi komunikasi dan menjaga integritas data dalam kondisi lingkungan dengan hambatan transmisi tinggi seperti di bawah air. Namun, penerapan ini masih terbatas pada pengiriman data satu arah dan belum mendukung sistem kontrol atau respon waktu nyata (*real-time*), serta belum mencakup integrasi fitur keselamatan berbasis sensor. Hal ini menunjukkan adanya kekosongan sistem terintegrasi yang dapat menggabungkan fungsi kendali, monitoring, dan proteksi secara bersamaan [6].

Penelitian lainnya oleh Hamid Azwar, Muhammad Diono, dan Rizadi Sasmita Darwis (2023) mengembangkan sistem telemetri nirkabel untuk deteksi dini kebakaran hutan menggunakan komunikasi LoRa. Sistem ini berhasil mengirimkan data suhu, kelembaban, dan asap dari lokasi yang jauh secara *real-time*. Namun, keterbatasan utama dari penelitian ini adalah tingginya *delay* pengiriman data akibat penggunaan satu jalur komunikasi, tanpa adanya mekanisme pengendalian atau visualisasi langsung kondisi lapangan [7].

Berdasarkan studi-studi tersebut, menunjukkan adanya permasalahan yang belum banyak diselesaikan oleh penelitian terdahulu dalam pengembangan sistem rover eksplorasi, yaitu belum adanya solusi yang menggabungkan secara terpadu antara kendali *real-time*, komunikasi sensor jarak jauh, fitur keselamatan otomatis, serta monitoring berbasis web. Sistem-sistem sebelumnya cenderung mengedepankan salah satu aspek saja, tanpa integrasi menyeluruh yang dibutuhkan dalam konteks eksplorasi area berbahaya.

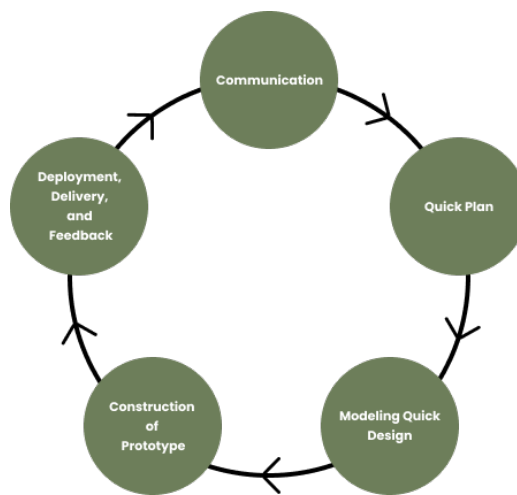
Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol dan monitoring rover berbasis ESP32 dan LoRa yang terintegrasi secara penuh. Sistem ini menggabungkan dua jalur komunikasi nirkabel, yaitu LoRa untuk pengiriman data sensor dan NRF24L01 untuk kendali *real-time*, serta dilengkapi dengan sensor ultrasonik sebagai sistem keselamatan otomatis. Selain itu, antarmuka website berbasis Next.js dan Supabase dikembangkan untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Pendekatan ini diharapkan dapat mengisi kekosongan pada penelitian terdahulu serta menghadirkan solusi praktis dan aplikatif bagi skenario eksplorasi di wilayah berbahaya.

2. METODE

Tahapan awal dalam penelitian ini diawali dengan perumusan masalah berdasarkan fenomena yang diamati di lapangan, yaitu kebutuhan akan sistem eksplorasi area berbahaya yang aman, efisien, dan dapat

dikendalikan serta dimonitor secara jarak jauh [8]. Untuk menjawab permasalahan tersebut, dilakukan pengumpulan data melalui studi literatur guna memperoleh pemahaman teoritis dan teknis terhadap komponen sistem yang akan dikembangkan. Studi literatur dilakukan terhadap jurnal ilmiah, artikel penelitian, dokumentasi perangkat keras dan lunak, serta referensi teknis lainnya yang relevan, untuk memperkuat kerangka konseptual dan menentukan pendekatan yang paling tepat dalam proses perancangan dan implementasi sistem.

Penelitian ini menggunakan metode *prototyping*, yaitu pendekatan pengembangan sistem secara iteratif yang memungkinkan evaluasi dan perbaikan berkelanjutan berdasarkan hasil pengujian dan umpan balik [9]. Metode ini dipilih karena sesuai untuk pengembangan sistem berbasis perangkat keras dan perangkat lunak yang kompleks, seperti *rover* IoT ini, yang memerlukan proses pengujian langsung di lapangan. Adapun tahapan dalam metode *prototyping* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari lima tahap, yaitu *communication*, *quick plan*, *modeling quick design*, *construction of prototype*, dan *deployment, delivery & feedback* [10].



Gambar 1. Tahapan Metode *Prototyping*

2.1. *Communication*

Pada tahap ini, peneliti melakukan proses identifikasi dan analisis kebutuhan sistem secara menyeluruh sebagai dasar perancangan prototipe [11]. Fokus utama diarahkan pada spesifikasi teknis *rover*, yang mencakup komponen penggerak, berbagai jenis sensor (suhu, kelembaban, gas, ultrasonik, *gyroscope*, tegangan, dan GPS), serta kebutuhan komunikasi data melalui modul LoRa dan NRF24L01. Informasi kebutuhan tersebut diperoleh melalui studi literatur, dokumentasi teknis perangkat, serta telaah terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan.

Beberapa kebutuhan utama yang berhasil diidentifikasi, seperti penggunaan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem [12], komunikasi *real-time* antara *rover* dan pengendali menggunakan NRF24L01, pengiriman data sensor jarak jauh dengan memanfaatkan modul LoRa, integrasi berbagai sensor seperti suhu dan kelembaban, gas, tegangan, GPS NEO-6M, MPU6050, serta sensor ultrasonik untuk mendukung fungsi monitoring dan keselamatan, serta pengembangan antarmuka website sebagai media pemantauan kondisi *rover* dan lingkungan secara *real-time*.

2.2. *Quick Plan*

Tahap ini bertujuan untuk menyusun rencana pengembangan sistem secara cepat dan terarah, mencakup perencanaan perangkat keras, perangkat lunak, dan alur kerja pengembangan prototipe [13]. Perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan komponen, kompleksitas integrasi, serta waktu yang dibutuhkan untuk pengujian sistem secara menyeluruh. Beberapa aspek yang direncanakan antara lain adalah penentuan daftar komponen utama yang akan digunakan, seperti ESP32, LoRa, NRF24L01, serta sensor-sensor pendukung, pengalokasian waktu pengembangan untuk masing-masing tahapan, termasuk perbaikan sistem, penyusunan skema kerja sistem, serta penjadwalan pengujian dengan skenario simulasi area berbahaya.

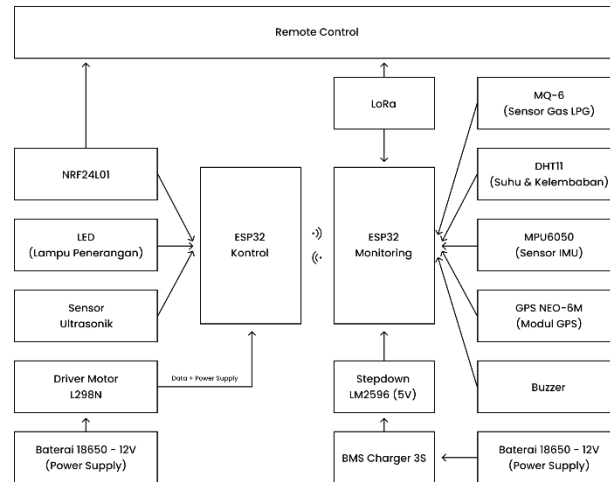
Tahap ini menghasilkan peta jalan pengembangan (*development roadmap*) yang berfungsi sebagai pedoman selama proses implementasi sistem berlangsung, sekaligus untuk memastikan pengembangan dilakukan secara efisien, terstruktur, dan dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang telah ditentukan.

2.3. Modeling Quick Design

Pada tahap ini, peneliti menyusun rancangan awal sistem sebagai dasar pengembangan prototipe, yang bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat terintegrasi dengan baik [14]. Perancangan dilakukan berdasarkan spesifikasi kebutuhan sistem yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Model yang dikembangkan mencakup diagram blok sistem, skema rangkaian perangkat keras, arsitektur website monitoring, dan flowchart alur sistem.

2.3.1. Diagram Blok Sistem

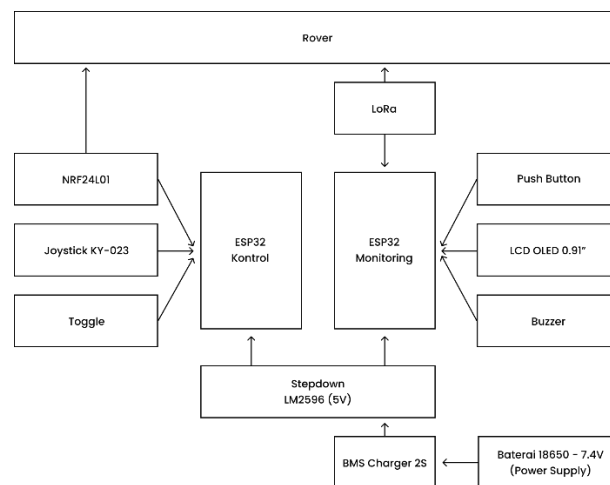
Diagram blok disusun untuk menggambarkan hubungan fungsional antar komponen utama dalam sistem [15]. Karena sistem terdiri dari dua bagian utama, yaitu *rover* dan *remote control*, maka diagram blok dibagi menjadi dua bagian terpisah untuk masing-masing sisi.



Gambar 2. Diagram Blok Rover

Pada sisi *rover*, mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang terhubung dengan berbagai sensor, meliputi sensor suhu dan kelembaban, sensor gas (MQ-6), sensor tegangan, GPS NEO-6M, sensor *gyroscope* (MPU6050), serta sensor ultrasonik. Modul komunikasi LoRa dan NRF24L01 digunakan untuk mengirimkan data sensor dan kontrol ke sisi *remote control* untuk selanjutnya dikirim ke *database*.

Sementara itu, pada sisi *remote control*, mikrokontroler ESP32 juga digunakan untuk membaca input dari joystick dan tombol kendali. Input tersebut kemudian dikirim secara *real-time* ke *rover* melalui modul NRF24L01. Di sisi ini, juga terdapat koneksi LoRa untuk menerima umpan balik data dari *rover*, seperti tegangan baterai atau kondisi sensor tertentu.

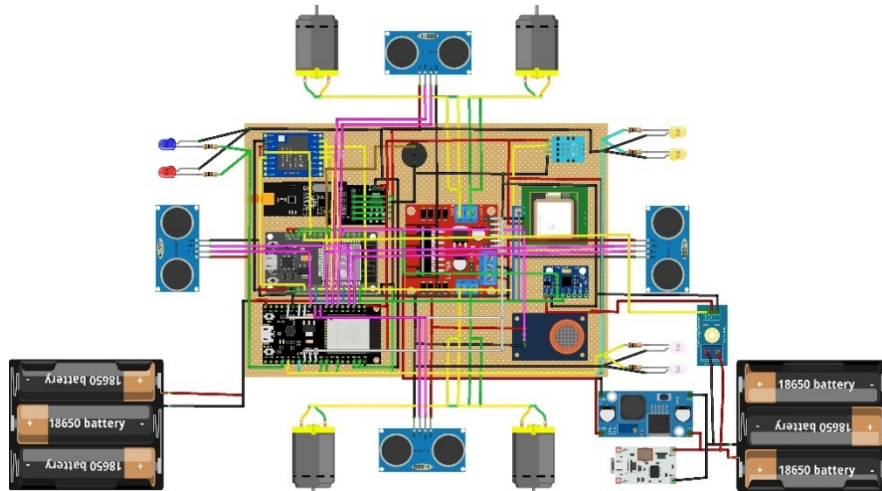


Gambar 3. Diagram Blok Remote Control

Dengan pembagian diagram blok ini, alur komunikasi dan fungsionalitas masing-masing sisi dapat dijelaskan secara lebih spesifik dan sistematis, serta memperjelas interaksi dua arah antara pengendali dan *rover* dalam sistem yang dikembangkan.

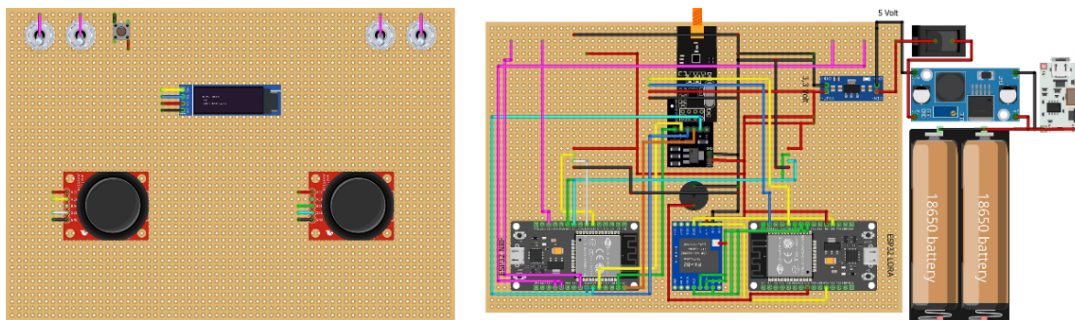
2.3.2. Skema Rangkaian Perangkat Keras

Skema rangkaian perangkat keras disusun untuk menggambarkan koneksi fisik antar komponen utama pada sistem [16]. Karena sistem terdiri dari dua bagian, maka dirancang dua skema rangkaian yang berbeda, yaitu untuk sisi *rover* dan sisi *remote control*. Setiap rangkaian dirancang secara modular agar memudahkan integrasi dan proses perakitan sistem.



Gambar 4. Skema Rangkaian Rover

Pada sisi *rover*, mikrokontroler ESP32 dihubungkan dengan berbagai sensor melalui jalur analog, digital, dan I2C. Sensor yang digunakan antara lain sensor suhu dan kelembaban (DHT22), sensor gas (MQ-6), sensor tegangan, sensor *gyroscope* MPU6050, GPS NEO-6M, dan beberapa sensor ultrasonik untuk deteksi rintangan. Modul LoRa dan NRF24L01 dihubungkan ke ESP32 menggunakan jalur komunikasi SPI, masing-masing untuk pengiriman data sensor dan penerimaan perintah kendali. Penggerak *rover* dikendalikan melalui driver motor L298N yang menerima sinyal PWM dari ESP32 untuk mengatur arah dan kecepatan motor DC.



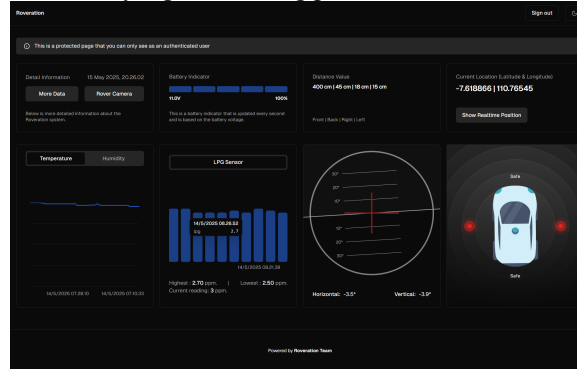
Gambar 5. Skema Rangkaian Remote Control

Pada sisi *remote control*, ESP32 menerima input dari joystick sebagai pengendali arah serta tombol-tombol kendali tambahan. Input ini kemudian dikirim ke *rover* melalui modul NRF24L01. Jika diperlukan, modul LoRa juga dapat digunakan pada sisi ini untuk menerima umpan balik dari *rover* seperti tegangan baterai atau data lingkungan secara terbatas.

Kedua skema rangkaian ini bertujuan untuk memastikan kestabilan komunikasi dua arah dan efektivitas dalam pengendalian serta monitoring [17], sehingga keseluruhan sistem dapat bekerja secara sinkron dan responsif terhadap perintah serta kondisi lingkungan.

2.3.3. Arsitektur Website Monitoring

Website monitoring dikembangkan sebagai antarmuka pengguna yang berfungsi menampilkan data sensor dari *rover* secara *real-time* [18]. Informasi yang disajikan meliputi suhu, kelembaban, konsentrasi gas (LPG), tegangan baterai, koordinat GPS, serta status rintangan berdasarkan pembacaan sensor ultrasonik. Website ini dirancang *responsive* agar dapat diakses melalui perangkat desktop maupun mobile, dan dibangun menggunakan teknologi berbasis web yang mendukung pembaruan data secara dinamis.

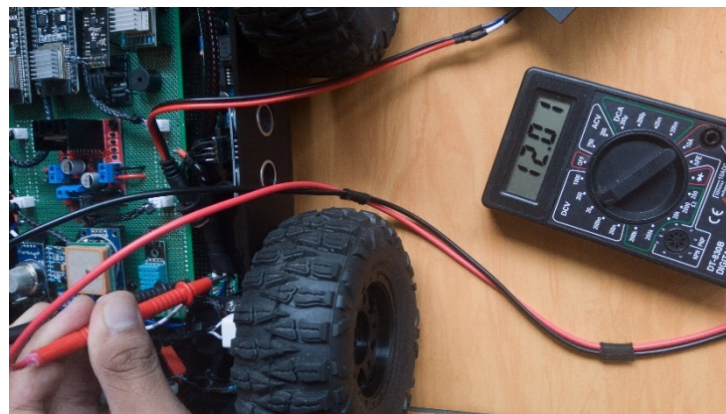


Gambar 6. Desain Website Monitoring Rover

Hasil implementasi menunjukkan bahwa antarmuka mampu menerima dan menampilkan data dari *rover* secara konsisten dan tepat waktu. Visualisasi data ditampilkan dalam bentuk grafik, indikator status, serta peta lokasi untuk memudahkan pemantauan. Dengan adanya antarmuka ini, operator dapat mengawasi kondisi lingkungan secara langsung dan melakukan tindakan kendali dengan lebih cepat dan efisien.

2.4. Construction of Prototype

Pada tahap ini, peneliti membangun prototipe berdasarkan desain dan spesifikasi sistem yang telah dirancang sebelumnya [19]. Prototipe terdiri dari dua unit utama, yaitu *rover* dan *remote control*, yang dikembangkan secara terpisah dan kemudian diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem yang utuh dan fungsional.



Gambar 7. Perakitan Perangkat Keras (Rover dan Remote Control)

Unit rover dirakit dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dan berbagai sensor, seperti suhu, kelembaban, gas, tegangan, GPS, *gyroscope* (MPU6050), dan sensor ultrasonik, sementara modul LoRa dikonfigurasi untuk mengirim data sensor ke gateway monitoring dan NRF24L01 digunakan untuk menerima perintah kendali dari *remote*. Unit *remote control* menggunakan ESP32 yang membaca input dari *joystick* dan tombol kontrol, lalu mengirimkan perintah ke rover melalui NRF24L01. Seluruh sistem diprogram menggunakan bahasa C++ pada platform Arduino IDE, sedangkan antarmuka monitoring dikembangkan menggunakan Next.js dan terhubung ke database Supabase untuk menampilkan data secara *real-time*. Setelah semua komponen terintegrasi, dilakukan pengujian internal untuk memastikan fungsi sensor, komunikasi data, respons motor, serta akurasi tampilan data. Hasil dari tahap ini adalah prototipe sistem yang berfungsi penuh dan siap diuji dalam skenario simulasi area berbahaya.

2.5. Deployment, Delivery & Feedback

Setelah proses konstruksi prototipe selesai, sistem diuji dalam skenario simulasi area berbahaya untuk mengevaluasi fungsionalitas secara menyeluruh [20]. Pengujian juga mencakup stabilitas komunikasi LoRa untuk transmisi data jarak jauh, dan reliabilitas NRF24L01 dalam menerima perintah *real-time* dari unit pengendali. Seluruh komponen diuji dalam berbagai kondisi untuk memastikan ketahanan sistem terhadap gangguan sinyal maupun variasi input sensor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menjalankan fungsi kontrol dan monitoring secara jarak jauh, serta untuk menilai efektivitas integrasi berbagai sensor dan modul komunikasi. Pengujian dilakukan secara bertahap terhadap masing-masing bagian sistem, termasuk kendali *rover*, komunikasi data menggunakan LoRa dan NRF24L01, pembacaan data sensor, serta tampilan data pada website monitoring.

3.1. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem difokuskan pada dua sensor utama yang berperan penting dalam mendukung fungsi eksplorasi di area berbahaya, yaitu sensor gas MQ-6 dan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor MQ-6 digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas LPG yang berpotensi membahayakan, sedangkan sensor ultrasonik berfungsi sebagai sistem keselamatan otomatis untuk mencegah tabrakan saat *rover* bergerak.

3.1.1. Pengujian Sensor Gas MQ-6

Pengujian sensor MQ-6 dilakukan untuk mengevaluasi sensitivitasnya dalam mendeteksi keberadaan gas LPG pada jarak dan kondisi lingkungan yang berbeda. Setiap pengujian dilakukan selama 5 menit untuk masing-masing skenario, dan nilai pembacaan tertinggi (dalam satuan ppm) dicatat.



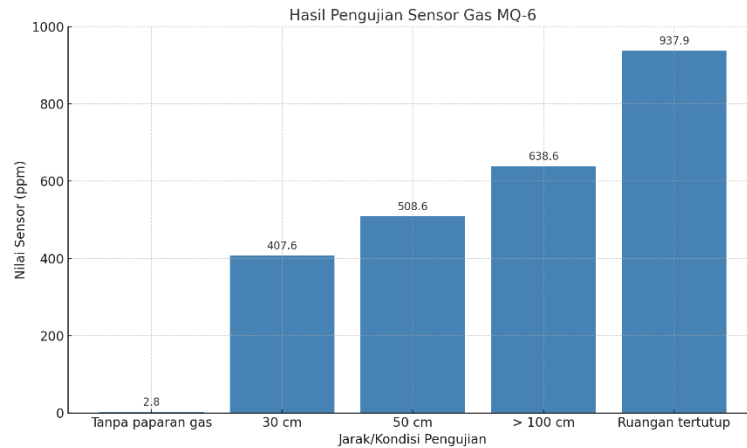
Gambar 8. Simulasi Pengujian Rover pada Ruang Tertutup

Pengujian mencakup kondisi tanpa paparan gas, paparan dari jarak 30 cm dan 50 cm, jarak lebih dari 1 meter, serta kondisi dalam ruangan tertutup. Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 1.

Table 1. Hasil Pengujian Sensor MQ-6

Jarak Sumber Gas	Waktu Paparan Sensor	Nilai Sensor (ppm)
Tanpa paparan gas	5 menit	2.8 ppm
30 cm	5 menit	407.6 ppm
50 cm	5 menit	508.6 ppm
> 100 cm	5 menit	638.6 ppm
Ruangan tertutup	5 menit	937.9 ppm

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-6 memberikan respons signifikan terhadap keberadaan gas LPG. Nilai tertinggi tercatat saat pengujian dilakukan dalam ruangan tertutup, yaitu sebesar 937.9 ppm, yang menunjukkan akumulasi gas dalam ruang terbatas. Bahkan pada jarak lebih dari 1 meter, sensor masih mampu mendeteksi gas dengan nilai sebesar 638.6 ppm. Sebaliknya, dalam kondisi tanpa paparan gas, nilai sensor sangat rendah (2.8 ppm), menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat sensitivitas yang baik. Dengan demikian, sensor MQ-6 terbukti efektif dalam mendeteksi keberadaan gas LPG sebagai bagian dari sistem pemantauan area berbahaya.



Gambar 9. Grafik Pembacaan Sensor MQ-6

Grafik di atas memperlihatkan peningkatan nilai sensor MQ-6 terhadap gas LPG sesuai dengan jarak dan kondisi lingkungan. Terlihat bahwa nilai sensor meningkat secara signifikan pada jarak lebih dekat ke sumber gas, serta mencapai nilai tertinggi dalam kondisi ruangan tertutup. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-6 sangat sensitif terhadap konsentrasi gas dalam ruang terbatas, dan tetap mampu mendeteksi gas meskipun berada pada jarak lebih dari 1 meter. Visualisasi ini memperkuat kesimpulan bahwa sensor memiliki kinerja yang stabil dan responsif untuk aplikasi di area berbahaya.

Untuk memberikan gambaran akurasi pembacaan sensor, dilakukan perhitungan standar deviasi terhadap lima kali pengulangan pengukuran pada masing-masing skenario. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata standar deviasi pembacaan sensor pada semua kondisi berada di bawah 15 ppm, dengan nilai tertinggi pada pengujian di ruangan tertutup (± 12.7 ppm). Nilai standar deviasi yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sensor MQ-6 menghasilkan data yang stabil dan konsisten, mendukung keandalan sistem dalam mendeteksi keberadaan gas LPG.

3.1.2. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi rintangan di depan *rover* dan menghentikan pergerakan secara otomatis saat jarak objek lebih kecil dari ambang batas yang telah ditentukan. Dalam sistem ini, ambang batas deteksi diatur sebesar 30 cm. Objek diletakkan pada jarak tertentu secara bertahap, dan status pergerakan *rover* diamati pada masing-masing skenario.



Gambar 10. Simulasi Pengujian Deteksi Rintangan dengan Ultrasonik

Pengujian ini juga merupakan bagian dari evaluasi sistem keamanan *rover*, yang dirancang agar dapat menghindari tabrakan secara otomatis saat beroperasi di medan yang tidak dapat diprediksi, khususnya pada area berbahaya. Hasil pengujian deteksi rintangan berdasarkan jarak dengan sensor ultrasonik ditampilkan dalam Tabel 2.

Table 2. Hasil Pengujian Deteksi Rintangan Ultrasonik

Jarak Obyek	Gerak Rover	Respon Gerak	Nilai Sensor (cm)
< 30 cm	Maju	Tidak Bergerak	24 cm
30 cm	Maju	Tidak Bergerak	30 cm
> 30 cm	Maju	Bergerak	44 cm
< 30 cm	Mundur	Tidak Bergerak	15 cm
30 cm	Mundur	Tidak Bergerak	30 cm
> 30 cm	Mundur	Bergerak	39 cm
< 30 cm	Belok Kanan	Tidak Bergerak	28 cm
30 cm	Belok Kanan	Tidak Bergerak	30 cm
> 30 cm	Belok Kanan	Bergerak	56 cm
< 30 cm	Belok Kiri	Tidak Bergerak	8 cm
30 cm	Belok Kiri	Tidak Bergerak	30 cm
> 30 cm	Belok Kiri	Bergerak	77 cm

Untuk masing-masing skenario arah gerak dan jarak objek, dilakukan pengukuran guna menilai konsistensi sistem. Rata-rata standar deviasi dari pembacaan sensor berada pada rentang ± 1.5 cm hingga ± 2.1 cm, tergantung arah pergerakan rover. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memberikan hasil yang konsisten dan mendukung keakuratan sistem keselamatan otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem deteksi rintangan berbasis sensor ultrasonik berfungsi secara konsisten dan akurat dalam menghentikan pergerakan rover ketika objek berada dalam jarak kurang dari atau sama dengan 30 cm, tanpa bergantung pada arah gerak. Dalam semua skenario, termasuk saat rover bergerak maju, mundur, maupun berbelok ke kanan dan kiri sistem secara otomatis menghentikan pergerakan ketika nilai sensor membaca jarak ≤ 30 cm, sedangkan pada jarak di atas ambang batas, rover tetap bergerak sesuai perintah. Nilai sensor yang terbaca menunjukkan akurasi tinggi dengan deviasi minimal, dan respon sistem tercatat cepat serta stabil tanpa delay yang mengganggu manuver. Hasil ini membuktikan bahwa sistem deteksi rintangan telah berfungsi optimal sebagai bagian dari fitur keamanan otomatis, untuk mencegah potensi tabrakan saat rover beroperasi di lingkungan berisiko.

3.2. Evaluasi Performa Komunikasi

Pengujian komunikasi dilakukan untuk mengevaluasi keandalan dua jalur komunikasi nirkabel yang digunakan dalam sistem, yaitu LoRa sebagai jalur pengiriman data sensor dan NRF24L01 sebagai jalur kendali *real-time*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur performa komunikasi pada berbagai jarak dan kondisi lingkungan, serta mengidentifikasi batas efektif penggunaan masing-masing modul.

3.2.1. Pengujian Komunikasi LoRa

Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengirimkan data sensor dari rover ke server monitoring secara jarak jauh. Dalam pengujian ini, data koordinat GPS dipilih sebagai sampel utama karena selain merepresentasikan data sensor yang dikirimkan secara rutin, informasi lokasi juga merupakan bagian penting dari sistem keamanan rover untuk memastikan pelacakan posisi saat berada di area berbahaya. Data GPS dikirimkan secara berkala melalui jaringan LoRa, dan parameter delay pengiriman diamati dalam berbagai skenario jarak serta kondisi lingkungan untuk menilai stabilitas dan kecepatan komunikasi. Hasil pengiriman data lokasi tersebut disajikan dalam Tabel 3.

Table 3. Hasil Pengujian LoRa dengan Data GPS

Tanggal & Waktu	Longitude	Latitude
2025-05-14 07:10:33	-7.61893	110.7655
2025-05-14 07:10:49	-7.61892	110.7655
2025-05-14 07:11:05	-7.61892	110.7655
2025-05-14 07:11:21	-7.61892	110.7655
2025-05-14 07:11:38	-7.61892	110.7655

Meskipun posisi GPS statis selama pengujian, variasi pengiriman waktu (*delay*) diamati untuk menilai kestabilan sistem. Rata-rata interval antar pengiriman adalah 16 detik dengan *margin of error* ± 0.8 detik (95% *confidence interval*), menunjukkan konsistensi dalam pengiriman data melalui jaringan LoRa.

Berdasarkan data pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mengirimkan data lokasi GPS secara periodik melalui jaringan LoRa dengan koneksi yang stabil dan konsisten. Meskipun koordinat GPS tidak mengalami perubahan signifikan karena pengujian dilakukan dalam kondisi statis, urutan waktu pengiriman yang rapi dan tanpa kehilangan data menunjukkan bahwa komunikasi LoRa mampu menangani transmisi data sensor secara berkelanjutan. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara sensor GPS dan modul LoRa telah berjalan optimal, serta menunjukkan bahwa sistem komunikasi mendukung fungsi monitoring jarak jauh dengan keandalan tinggi.

Setelah terbukti mampu mengirimkan data secara stabil dalam kondisi statis, pengujian dilanjutkan dengan mengevaluasi performa komunikasi LoRa dalam skenario dinamis dengan jarak dan hambatan yang bervariasi. Hasil pengujian delay komunikasi disajikan dalam Tabel 4.

Table 4. Hasil Pengujian Delay LoRa sesuai Jarak dan Kondisi

Jarak	Kondisi	Delay (ms)	Keterangan
5 meter	Tanpa Penghalang	1000 ms	Pengiriman data sesuai
5 meter	Ada Penghalang	1000 ms	Pengiriman data sesuai
10 meter	Tanpa Penghalang	1000 – 2000 ms	Delay melebihi standar
10 meter	Ada Penghalang	2000 – 4000 ms	Delay melebihi standar
15 meter	Tanpa Penghalang	\pm 3000 ms	Delay tinggi
15 meter	Ada Penghalang	3000 – 5000 ms	Tidak stabil dan delay tinggi

Setiap pengukuran *delay* dilakukan lima kali untuk tiap skenario. Rata-rata deviasi waktu pengiriman pada kondisi tanpa penghalang adalah \pm 350 ms, sedangkan pada kondisi dengan penghalang meningkat hingga \pm 800 ms. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa hambatan fisik memberikan pengaruh signifikan terhadap kestabilan transmisi data LoRa.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi LoRa mampu mengirimkan data lokasi GPS secara stabil pada jarak dekat hingga menengah. Pada kondisi tanpa hambatan, pengiriman data berlangsung tepat waktu dengan delay sekitar 1000 ms. Namun, pada jarak lebih jauh atau saat terdapat penghalang seperti tembok, terjadi peningkatan delay hingga lebih dari 4000 ms. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun LoRa efektif untuk komunikasi jarak jauh, performanya dipengaruhi signifikan oleh hambatan fisik, sehingga perlu mempertimbangkan penempatan perangkat dan lingkungan operasional untuk mencapai kinerja optimal.

3.2.2. Pengujian Komunikasi NRF24L01

Modul NRF24L01 digunakan sebagai jalur komunikasi utama untuk sistem kendali *rover* secara *real-time* dari unit *remote control*. Selain menerima input perintah dari joystick, modul ini juga digunakan untuk mengirimkan data dari sensor ultrasonik yang terpasang di empat sisi *rover* (depan, belakang, kiri, dan kanan). Integrasi sensor ultrasonik dengan komunikasi NRF24L01 dirancang untuk mendukung sistem keselamatan aktif, sehingga operator dapat secara langsung memantau kondisi sekitar *rover* dan mengambil keputusan manuver yang tepat.

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan pengiriman data sensor ultrasonik melalui NRF24L01. Data dikirim secara periodik dalam interval tertentu, dan mencerminkan dinamika lingkungan di sekitar *rover*. Hasil pengujian pengiriman data ditampilkan pada Tabel 5 berikut.

Table 5. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik dengan NRF24L01

Tanggal & Waktu	Sisi Depan	Sisi Belakang	Sisi Kanan	Sisi Kiri
2025-05-14 07:15:57	204 cm	85 cm	105 cm	61 cm
2025-05-14 07:16:14	180 cm	85 cm	104 cm	61 cm
2025-05-14 07:16:30	204 cm	85 cm	104 cm	61 cm
2025-05-14 07:16:47	204 cm	85 cm	105 cm	56 cm
2025-05-14 07:17:03	204 cm	85 cm	105 cm	54 cm

Data dari keempat sisi sensor ultrasonik dianalisis untuk variasi antar waktu. Rata-rata nilai pembacaan menunjukkan kestabilan, dengan standar deviasi berkisar antara \pm 3–5 cm. Sisi kiri dan belakang menunjukkan deviasi terkecil (\pm 2–3 cm), menandakan lingkungan dari arah tersebut cenderung tidak berubah selama periode pengamatan. Nilai-nilai ini memperkuat bahwa sensor ultrasonik mampu memberikan data yang stabil dan dapat diandalkan dalam mendeteksi perubahan jarak secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul NRF24L01 mampu mengirimkan data sensor ultrasonik secara periodik dan stabil. Nilai pembacaan dari empat arah menunjukkan variasi yang wajar dan akurat terhadap kondisi lingkungan sekitar. Terlihat adanya perubahan signifikan pada beberapa waktu tertentu, seperti nilai di sisi depan dan kanan yang menurun drastis, menunjukkan keberadaan rintangan atau objek yang mendekat. Hal ini membuktikan bahwa sistem pengiriman data sensor berbasis NRF24L01 tidak hanya stabil dalam hal komunikasi, tetapi juga cukup responsif dalam mendeteksi dan melaporkan kondisi dinamis di sekitar *rover*, yang penting untuk keselamatan operasional.

Selanjutnya, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa kendali *real-time* dari *rover* melalui NRF24L01 dalam berbagai kondisi jarak dan lingkungan. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas efektif komunikasi, serta stabilitas sistem kendali dalam menerima dan mengeksekusi perintah. Hasil pengujian performa kendali ditampilkan dalam Tabel 6.

Table 6. Hasil Pengujian NRF24L01 sesuai Jarak dan Kondisi

Jarak	Kondisi	Delay (ms)	Keterangan
10 meter	Tanpa Penghalang	Sangat Lancar	Kontrol Sangat Stabil
10 meter	Ada Penghalang	Sangat Lancar	Kontrol Sangat Stabil
20 meter	Tanpa Penghalang	Sangat Lancar	Kontrol Sangat Stabil
20 meter	Ada Penghalang	Sangat Lancar	Kontrol Sangat Stabil
50 meter	Tanpa Penghalang	Lancar	Kontrol Stabil
100 meter	Ada Penghalang	Lancar	Kontrol Stabil
100 meter	Tanpa Penghalang	Lancar	Kontrol Stabil
100 meter	Ada Penghalang	Cukup Lancar	Kontrol Cukup Stabil
120 meter	Tanpa Penghalang	Cukup Lancar	Kontrol Cukup Stabil
120 meter	Ada Penghalang	Tidak Lancar	Kontrol Tidak Stabil
> 120 meter	-	Sinyal Terputus	Tidak Ada Komunikasi

Delay kendali rata-rata pada jarak hingga 100 meter berada di bawah 50 ms dengan margin of error ± 4.5 ms. Setelah melewati 120 meter, sinyal tidak stabil dan delay menjadi tidak terukur. Hasil ini mendukung kesimpulan bahwa batas efektif NRF24L01 berada pada 100–120 meter.

Berdasarkan hasil pengujian, modul NRF24L01 menunjukkan performa yang sangat baik dalam komunikasi kendali *real-time* hingga jarak 50 meter, baik dalam kondisi tanpa maupun dengan penghalang. Pada jarak 100–120 meter, sistem masih dapat berfungsi meskipun terjadi penurunan stabilitas. Di atas 120 meter, sinyal mulai terputus dan *rover* tidak lagi merespons perintah kendali. Hasil ini menunjukkan bahwa NRF24L01 sangat cocok digunakan untuk sistem kontrol *rover* pada area terbuka atau semi-terbuka dengan jangkauan sedang. Namun, untuk jangkauan lebih luas atau kondisi lingkungan yang kompleks, diperlukan penguatan sinyal atau penggunaan alternatif komunikasi lain.

3.3. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap sistem *rover* IoT berbasis ESP32 dan LoRa, diperoleh sejumlah temuan penting yang menggambarkan performa, keandalan, serta batas kemampuan sistem dalam konteks eksplorasi area berbahaya. Salah satu aspek utama yang diuji adalah komunikasi menggunakan modul LoRa. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data sensor dengan baik hingga jarak 15 meter pada kondisi lapangan terbuka. Namun, ketika terdapat penghalang atau jarak semakin jauh, terjadi peningkatan keterlambatan (*delay*) pengiriman data, dengan rentang waktu antara 1000 ms hingga 5000 ms. Temuan ini menunjukkan bahwa LoRa lebih cocok untuk pengiriman data non-kritis seperti suhu, kelembaban, atau konsentrasi gas, di mana prioritasnya adalah jangkauan luas dan efisiensi daya, bukan kecepatan pengiriman data.

Di sisi lain, modul NRF24L01 menunjukkan performa yang sangat andal untuk pengendalian *rover* secara *real-time*. Modul ini mampu menjaga kestabilan komunikasi hingga jarak 100 meter baik dalam kondisi dengan maupun tanpa penghalang. Namun, pada jarak lebih dari 120 meter, kestabilan mulai menurun dan sinyal tidak lagi dapat diterima dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa NRF24L01 sangat cocok digunakan untuk sistem kontrol aktif, yang membutuhkan respons cepat dan minim *delay*.

Pengujian terhadap sensor MQ-6 juga memberikan hasil yang positif. Sensor ini mampu mendeteksi keberadaan gas LPG dengan akurat pada rentang jarak 30–100 cm dari sumber gas. Nilai pembacaan meningkat secara signifikan saat sensor berada dekat dengan sumber, misalnya pada jarak 50 cm tercatat nilai sebesar 580.6 ppm, dan di ruang tertutup nilainya mencapai hingga 937.9 ppm. Sensor ini efektif dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kebocoran gas, meskipun memerlukan waktu kalibrasi sekitar 20 detik sebelum pembacaan stabil.

Sensor ultrasonik yang dipasang pada berbagai sisi *rover* juga bekerja dengan sangat baik dalam mendeteksi rintangan. Sistem akan menghentikan pergerakan secara otomatis apabila objek terdeteksi dalam jarak kurang dari 30 cm. Pengujian dalam berbagai arah gerak seperti maju, mundur, belok kanan, dan belok kiri menunjukkan bahwa fitur keselamatan ini berjalan secara konsisten dan akurat, menjadikannya bagian penting dari otonomi dasar sistem untuk menghindari tabrakan di lapangan.

Selain itu, sistem monitoring berbasis website yang dibangun menggunakan Next.js dan Supabase terbukti efektif dalam menyajikan data secara *real-time*. Data seperti posisi GPS, kadar gas, serta jarak rintangan dari sensor ultrasonik berhasil ditampilkan secara informatif dan disimpan secara terstruktur di dalam database. Hal ini mempermudah operator dalam memantau kondisi *rover* dan lingkungan sekitarnya selama proses eksplorasi berlangsung, serta mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan berbasis data.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dalam beberapa aspek. LoRa sangat efektif untuk pengiriman data sensor jarak jauh meskipun memiliki *delay* saat menghadapi hambatan fisik. NRF24L01 memberikan kendali manual yang sangat stabil dan responsif. Semua sensor yang digunakan, khususnya MQ-6 dan sensor ultrasonik, berfungsi sesuai ekspektasi. Terakhir, sistem monitoring berbasis web

memberikan nilai tambah signifikan dalam hal visibilitas dan pengawasan secara langsung terhadap kondisi lingkungan dan posisi rover.

Meskipun sistem yang dikembangkan menunjukkan performa yang baik dalam pengujian simulasi, masih terdapat beberapa keterbatasan. Pertama, *delay* pada komunikasi LoRa meningkat signifikan ketika terdapat penghalang fisik atau jarak lebih dari 15 meter, yang dapat mengganggu monitoring di lapangan terbuka. Kedua, sistem belum mendukung navigasi otonom atau penghindaran rintangan kompleks berbasis kecerdasan buatan (*AI*). Ketiga, pengukuran sensor gas masih sensitif terhadap suhu dan kelembaban, sehingga perlu kalibrasi tambahan dalam lingkungan ekstrem.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penambahan sistem navigasi otonom berbasis pemrosesan citra, penguatan sinyal komunikasi, serta penggunaan algoritma pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi deteksi dan respon sistem secara adaptif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kontrol dan monitoring rover berbasis ESP32 dan LoRa yang dapat digunakan untuk eksplorasi area berbahaya secara jarak jauh. Sistem ini mampu mengirim data sensor secara stabil menggunakan LoRa dan mengendalikan rover secara real-time menggunakan NRF24L01 hingga jarak yang signifikan. Sensor MQ-6 efektif dalam mendeteksi keberadaan gas LPG, sementara sensor ultrasonik memberikan fungsi keselamatan otomatis yang dapat menghentikan rover saat mendeteksi rintangan. Website monitoring yang dibangun mendukung pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dan memudahkan operator dalam pengambilan keputusan. Sistem ini berpotensi diimplementasikan dalam berbagai skenario eksplorasi berisiko tinggi, seperti area dengan kebocoran gas, bencana alam, atau lokasi berbahaya lainnya. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan peningkatan jangkauan komunikasi dan penambahan sistem navigasi otonom berbasis pemrosesan citra.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada kedua orang tua atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti. Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman yang telah memberikan semangat dan bantuan selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada dosen pembimbing, Bapak Joni Maulindar dan Bapak Marta Ardiyanto atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berharga selama pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] B. Wirahmat Halawa, G. Christmass Setyawan, and K. Juri Damai Lase, "Rancang Bangun Robot Remote Control Menggunakan Teknologi DTMF Dengan SIM800L GPRS GSM," *Jurnal Ilmiah Komputer*, vol. 20, no. 2, pp. 618–631, Aug. 2024, doi: 10.35889/progresif.v20i2.1944.
- [2] E. Sopyan, D. Suarna, and M. Harun Ashar, "Rancang Bangun Robot Pengantar Obat dan Makanan Pasien Berbasis Internet of Things," *Bulletin of Information Technology (BIT)*, vol. 4, no. 2, pp. 344–352, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.47065/bit.v4i3.839>.
- [3] P. E. Broto, "Rancang Bangun Rover Berpenggerak Brushless dengan Kontroler Pixhawk menggunakan Joystick," *Jurnal Fokus Elektroda*, vol. 8, no. 2, pp. 110–115, May 2023, doi: <https://doi.org/10.33772/jfe.v8i2.90>.
- [4] Faizal Rahmasyah, Prihadi Murdiyati, and Rusda, "Unjuk Kerja LoRa Untuk Media Komunikasi Smart Farming di Area Persawahan Desa Manunggal Jaya," *Jurnal Teknik Elektro PoliGrid*, vol. 5, no. 1, pp. 34–41, Jun. 2024, doi: 10.46964/poligrd.v5i1.42.
- [5] S. Herlukman, D. Widiatmoko, and F. Kholid, "Penerapan Canggih Lora SX1278 Pada Senjata Robot Pengaman Guna Telekontrol Yang Inovatif," *Nucleus Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 39–47, May 2024, doi: 10.32492/nucleus.v3i1.3105.
- [6] S. Oktavian Puji Prameswari *et al.*, "Analisis Quality Of Service Integrasi MQTT-LoRa dengan Hambatan Untuk Monitoring Autonomous Underwater Vehicle," *Jurnal Inovasi Global*, vol. 2, no. 8, 2024, doi: 10.58344/jig.v2i6.
- [7] H. Azwar, M. Diono, and R. Sasmita Darwis, "Sistem Telemetri Nirkabel Menggunakan Long Range (LoRa) untuk Deteksi Dini Kebakaran Hutan," *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, vol. 9, no. 1, pp. 103–112, May 2023.
- [8] D. Tri Widiatmoko, B. Setya Utami, P. Studi Desain Komunikasi Visual, and F. Teknologi Informasi, "Perancangan UI/UX Purwarupa Aplikasi Penentu Kualitas Benih Bunga Berbasis Mobile Menggunakan Metode Design Thinking (Studi Kasus PT Selektani)," *AITI: Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 19, no. Februari, pp. 120–136, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.24246/aiti.v19i1.120-136>.
- [9] M. A. Ridla and M. F. Rahman, "Perancangan Prototype Monitoring Suhu Berbasis Internet Of Things (IoT)," *JUSIFOR : Jurnal Sistem Informasi dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 72–79, Jun. 2024, doi: 10.33379/jusifor.v3i1.4367.
- [10] R. Pramudita and K. Setyawan, "Sistem Smart Class Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Metode Prototype," *SMARTICS Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 28–4, 2022, doi: 10.21067/smartics.v8i1.7209.
- [11] M. Alda, "Pengembangan Aplikasi Pengolahan Data Siswa Berbasis Android Menggunakan Metode Prototyping," *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, vol. 13, no. 1, pp. 11–23, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.34010/jamika.v13i1.8216>.
- [12] Ahmad Qashid Husaini, Herliyani Hasanah, and Nurchim, "Pengendalian lampu dan door lock berbasis IOT untuk efisiensi kontrol di Yayasan Gunung Wayang Manunggal," *INFOTECH : Jurnal Informatika & Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 202–217, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.37373/infotech.v5i2.1265>.

- [13] L. N. Amali, I. R. Padiku, and A. M. Hunta, "Development of Integrated Waste Management Information System to Support Sustainable Development," *Jambura Journal of Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 14–25, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.37905/jji.v6i1.24659>.
- [14] T. A. D. P. Subianto, J. Wiratama, and F. A. Halim, "The Development of web-based Cashier and Inventory Information Systems using Prototyping Model on Micro, Small, and Medium Enterprise (MSMEs) in Indonesia," *JOINS (Journal of Information System)*, vol. 8, no. 1, pp. 80–89, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.33633/joins.v8i1.7983>.
- [15] A. Darman Putra, S. Defit, and G. Widi Nurcahyo, "Penerapan IoT pada Alat Temperature Monitoring System Cold Chain Box Vaccine Menggunakan Sensor DS18B20," *Jurnal KomtekInfo*, vol. 12, pp. 1–11, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v12i1.589>.
- [16] G. Aji Pangestu, Juwari, and M. Yusuf Asyhari, "Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Notifikasi Bot Telegram untuk Pendeteksian Gerak," *Journal of Smart System (JSS)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–4, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.36728/jss.v4i1.3913>.
- [17] A. A. Hapsari, D. J. Vresdian, B. W. Dionova, and T. Andreansyah, "Development of Quadcopter Drone and IoT Module Technology in Geospatial-Based Air Emission Monitoring," *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (J-AISE)*, vol. 5, no. 1, p. 1, Mar. 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.30811/jaise.v5i1.6300>.
- [18] I. Yusuf and R. R. Suryono, "Implementasi Aplikasi untuk Pemantauan Kelembaban Tanah Pada Teknologi Irigasi Tetes Tanaman Jagung," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 541–549, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i2.1714>.
- [19] L. A. Abdillah and A. Kurniasti, "Mobile-Based COVID-19 Vaccination Registration Application Prototype," *Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 7, no. 3, pp. 2152–2159, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.33395/sinkron.v7i3.11779>.
- [20] M. M. I. Harahap, H. D. Septama, and M. Komarudin, "Pengembangan Sistem Agenda Pimpinan Universitas Lampung Menggunakan Framework Laravel," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 3, pp. 193–200, Aug. 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v10i3.2650>.