

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING INFUS PINTAR DAN NURSE
CALL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) DENGAN IMPLEMENTASI
TEKNOLOGI LONG RANGE (LoRa) UNTUK EFISIENSI LAYANAN
KESEHATAN PADA RUMAH SAKIT BHAYANGKARA MANADO**

Keziah Gloria Porawouw¹, Karmila Enjelita Kamasih², Zulfikar Parasana³, Marike
A. S. Kondo⁴, Ali Ramschie⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Manado

¹keziahglporawouw@gmail.com, ²karmilaenjelitakamasih@gmail.com,

³zulfikarprsn123@gmail.com,

⁴mariekondo@polimdo.ac.id, ⁵ali.a.s.ramschie@gmail.com

ABSTRACT

The rapid advancement of digital technology in the healthcare sector has created an urgent need for faster, more precise, and more efficient patient care systems, particularly in managing intravenous (IV) therapy for hospitalized patients. A persistent challenge faced by many hospitals is the continued reliance on manual IV fluid monitoring by nursing staff, a practice that carries inherent risks of delayed fluid replacement and compromised patient safety. In response to this challenge, the present study undertakes the design and development of a smart IV monitoring system integrated with a nurse call feature, constructed upon the Internet of Things (IoT) paradigm and powered by Long Range (LoRa) wireless communication technology (Samsiana et al., 2024; Priyandoko, 2021). The architecture of the developed system comprises a patient-side node equipped with a load cell sensor for real-time IV fluid weight measurement and an infrared (IR) sensor for drip flow detection, complemented by a physical nurse call button enabling direct communication between patients and nursing personnel. Data acquired by each node is transmitted wirelessly via a LoRa module to an ESP32-based gateway, which processes the incoming data stream, converts it into JSON format, and relays it to a web server for visualization on a centralized monitoring dashboard. The study adopts a Research and Development (R&D) methodology with an experimental approach encompassing the phases of system design, hardware and software implementation, functional testing, and comprehensive performance evaluation (Pratama et al., 2021). Empirical testing conducted under both indoor and outdoor conditions confirms that the system operates reliably and stably across varying distances. The average response time recorded for IV status monitoring falls within the range of 9 to 12 seconds, while the nurse call feature demonstrates a considerably faster response time of approximately 1 to 5 seconds. LoRa-based communication proved robust for real-time data transmission, with latency increasing proportionally with distance. The findings substantiate that the proposed system holds significant potential to enhance IV monitoring efficiency, accelerate nursing staff response, and ultimately contribute to improved quality of care in hospital settings (Rohman et al., 2023; Rahmanto et al., 2025).

Keywords: *Internet of Things, LoRa, IV Monitoring, Nurse Call, ESP32, Healthcare System*

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan teknologi digital di sektor layanan kesehatan telah mendorong kebutuhan mendesak terhadap sistem pemantauan pasien yang lebih responsif, akurat, dan efisien, khususnya dalam pengelolaan terapi cairan intravena bagi pasien rawat inap. Salah satu kendala yang hingga kini masih dihadapi oleh banyak institusi rumah sakit adalah ketergantungan pada metode pemantauan cairan infus secara manual oleh tenaga perawat, sebuah praktik yang berpotensi mengakibatkan keterlambatan penggantian cairan serta menurunkan tingkat keselamatan pasien. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan membangun sebuah sistem monitoring infus pintar yang diintegrasikan dengan fitur nurse call, berlandaskan paradigma Internet of Things (IoT) dan memanfaatkan teknologi komunikasi nirkabel Long Range (LoRa) (Samsiana dkk., 2024; Priyandoko, 2021). Arsitektur sistem yang dikembangkan mencakup sebuah node di sisi pasien yang dilengkapi sensor load cell untuk pengukuran berat cairan infus secara real-time dan sensor inframerah (IR) guna mendeteksi aliran tetesan, serta tombol nurse call fisik sebagai sarana komunikasi langsung antara pasien dan perawat. Data yang dikumpulkan oleh setiap node ditransmisikan secara nirkabel melalui modul LoRa menuju gateway berbasis ESP32, yang selanjutnya memproses aliran data, mengonversinya ke format JSON, dan meneruskannya ke web server untuk divisualisasikan pada dashboard monitoring terpusat. Penelitian ini mengadopsi metodologi Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental yang mencakup tahap perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, pengujian fungsional, serta evaluasi kinerja secara menyeluruh (Pratama dkk., 2021). Pengujian empiris yang dilaksanakan pada kondisi indoor maupun outdoor mengonfirmasi bahwa sistem beroperasi secara andal dan stabil pada berbagai variasi jarak. Rata-rata waktu respons yang tercatat untuk pemantauan status infus berada dalam kisaran 9 hingga 12 detik, sementara fitur nurse call menunjukkan waktu respons yang jauh lebih singkat, yakni sekitar 1 hingga 5 detik. Komunikasi berbasis LoRa terbukti robust dalam transmisi data real-time, dengan latensi yang meningkat secara proporsional seiring bertambahnya jarak pengujian. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa sistem yang diusulkan berpotensi besar dalam meningkatkan efisiensi monitoring infus, mempercepat respons tenaga medis, dan pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kualitas pelayanan di lingkungan rumah sakit (Rohman dkk., 2023; Rahmanto dkk., 2025).

Kata Kunci: Internet of Things, LoRa, Monitoring Infus, Nurse Call, ESP32, Sistem Kesehatan

A. Pendahuluan

Transformasi digital di bidang layanan kesehatan kini telah berkembang menjadi suatu keniscayaan yang tak lagi dapat diabaikan. Seiring meningkatnya tuntutan masyarakat terhadap mutu pelayanan rumah sakit

yang cepat, akurat, dan mengutamakan keselamatan pasien, berbagai inovasi teknologi terus didorong untuk hadir sebagai solusi. Dalam konteks perawatan rawat inap, dua aspek yang memegang peranan krusial adalah sistem pemantauan cairan infus dan

mekanisme komunikasi antara pasien dengan tenaga medis. Efisiensi pengelolaan infus pasien menjadi semakin mendesak mengingat keterbatasan sumber daya manusia serta luasnya area pelayanan di lingkungan rumah sakit (Syaifudin & Chamidah, 2023).

Proses pemantauan volume cairan infus yang masih dilakukan secara manual melalui pengecekan rutin oleh perawat menyimpan risiko laten berupa keterlambatan penggantian cairan ketika volumenya mendekati habis. Situasi demikian berpotensi mengganggu efektivitas terapi yang diberikan dan meningkatkan risiko medis, terutama bagi pasien yang membutuhkan pengawasan intensif (Pangestu dkk., 2023). Kondisi inilah yang mendorong hadirnya inovasi alat monitoring infus yang lebih andal, utamanya dengan mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan jarak jauh dan otomatisasi notifikasi (Hendrawati & Ruswandi, 2021).

IoT merupakan sebuah konsep yang memungkinkan berbagai objek fisik saling terhubung, berkomunikasi, dan bertukar data dalam satu ekosistem terintegrasi melalui jaringan internet. Penerapan IoT dalam sistem

pemantauan kesehatan tidak hanya meningkatkan akurasi pengawasan kondisi pasien, tetapi juga memungkinkan terselenggaranya notifikasi otomatis kepada perawat, sehingga risiko keterlambatan penanganan dapat ditekan seminimal mungkin (Waduma dkk., 2023). Lebih jauh, teknologi ini membuka peluang untuk mengontrol kondisi infus secara *real-time* dari jarak jauh, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi dan kecepatan respons dalam penanganan pasien (Nasir & Yanuar, 2021).

Untuk keperluan transmisi data dalam sistem IoT berbasis monitoring ini, teknologi LoRa (*Long Range*) tampil sebagai alternatif yang sangat menjanjikan. Karakteristiknya yang hemat daya, berjangkauan luas, serta hanya memerlukan satu kanal gateway untuk menghubungkan berbagai perangkat IoT menjadikannya pilihan yang tepat untuk lingkungan rumah sakit dengan cakupan area yang luas (Nurhadi dkk., 2021). Pengembangan sistem monitoring infus pintar berbasis LoRa menawarkan solusi yang mampu mengoptimalkan proses pengawasan pasien rawat inap secara nirkabel, meminimalkan intervensi manual perawat, serta meningkatkan

responsivitas terhadap perubahan kondisi infus (Setiawan dkk., 2024). Mengacu pada konteks tersebut, Rumah Sakit Bhayangkara Manado sebagai salah satu institusi pelayanan kesehatan terdepan di wilayah Sulawesi Utara membutuhkan terobosan berupa sistem pemantauan infus pintar yang terintegrasi dengan fitur *nurse call* berbasis IoT dengan dukungan teknologi LoRa. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan notifikasi otomatis ketika volume cairan infus mendekati habis maupun ketika pasien mengaktifkan tombol panggilan, sehingga waktu tanggap perawat dapat dipercepat, potensi kelalaian dapat ditekan, dan efisiensi operasional rumah sakit dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D), yakni suatu metode yang tidak sekadar berfokus pada analisis permasalahan, melainkan mencakup keseluruhan siklus mulai dari perancangan, pembangunan, pengujian, hingga evaluasi sistem secara komprehensif (Pratama dkk., 2021). Pemilihan metode ini didasarkan pada orientasi penelitian yang bersifat

terapan, di mana luaran akhirnya berupa prototipe sistem fungsional yang dapat dioperasikan dan dievaluasi kinerjanya secara langsung.

Pendekatan eksperimental diterapkan dalam penelitian ini melalui serangkaian tahapan terstruktur, meliputi: (1) perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak sistem; (2) implementasi komponen elektronika dan pemrograman mikrokontroler; (3) pengujian fungsionalitas sistem dalam kondisi *indoor* dan *outdoor*; serta (4) analisis kinerja komunikasi LoRa dan akurasi sensor yang digunakan. Keseluruhan proses pengembangan dilaksanakan secara iteratif guna memastikan setiap subsistem berfungsi dengan optimal sebelum dilakukan integrasi penuh.

Sistem yang dirancang terdiri atas tiga komponen utama, yaitu *node* pasien, *gateway*, dan *web server*. *Node* pasien bertugas membaca data sensor dan mengirimkannya melalui LoRa, *gateway* berfungsi sebagai pusat pengolahan dan penerusan data ke server, sedangkan *web server* menyediakan antarmuka dashboard untuk pemantauan oleh perawat di *nurse station* (Samsiana dkk., 2024). Perangkat lunak dikembangkan menggunakan XAMPP versi 7.2.8

sebagai *web server* lokal, dengan antarmuka berbasis web yang mendukung akses *real-time* oleh tenaga medis (Hendrawati & Ruswandi, 2021).

Komponen perangkat keras yang digunakan pada sisi node meliputi: (1) **Mikrokontroler Arduino Mega 2560** sebagai pusat kendali node, dengan chip ATmega2560, 54 pin digital I/O (15 di antaranya mendukung PWM), 16 pin input analog, 4 port UART, kristal osilator 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, header ICSP, dan tombol reset; (2) **Sensor Load Cell** yang bekerja berdasarkan prinsip *strain gauge* untuk mengukur berat kantong cairan infus dengan presisi tinggi; (3) **Modul HX711**, yaitu *Analog-to-Digital Converter* 24-bit yang menguatkan dan mengonversi sinyal analog dari load cell menjadi data digital dengan akurasi hingga $\pm 0,5\%$; (4) **IR Optocoupler Speed Sensor** yang memanfaatkan pemancar dan penerima inframerah untuk mendeteksi laju tetesan cairan infus; (5) **Modul LoRa Ebyte E220-400T22D** berbasis chip Semtech LLCC68 dengan frekuensi kerja 433 MHz dan antarmuka UART, mampu menjangkau transmisi hingga 10 km pada varian berdaya 30 dBm serta mendukung fitur *Air Wake-up* dan *Fixed*

Transmission; (6) **LCD OLED** sebagai tampilan lokal untuk parameter *flow*, volume, persentase, dan status infus; serta (7) **Push Button** yang berfungsi ganda sebagai tombol *nurse call* dan tombol penanda penggantian infus.

Sementara itu, sisi *gateway* menggunakan: (1) **Mikrokontroler ESP32** sebagai pusat pengolahan data yang juga menyediakan konektivitas WiFi natif untuk mengirimkan data ke *web server*; (2) **Modul LoRa E220** yang serupa dengan sisi node untuk menerima data nirkabel; (3) **Buzzer** sebagai indikator audio yang aktif ketika tombol *nurse call* ditekan atau cairan infus mendekati habis; serta (4) **LED indikator** yang menandakan status pengiriman/penerimaan data LoRa dan status koneksi WiFi. Catu daya pada masing-masing sisi menggunakan adaptor DC 5–12V atau baterai Li-ion 3,7V dengan modul *step-up*, dipilih dengan pertimbangan konsumsi daya yang rendah agar setiap node dapat ditempatkan di banyak kamar pasien tanpa beban operasional yang besar (CAD Files Arduino Mega 2560 Rev3; Nurhadi dkk., 2021).

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

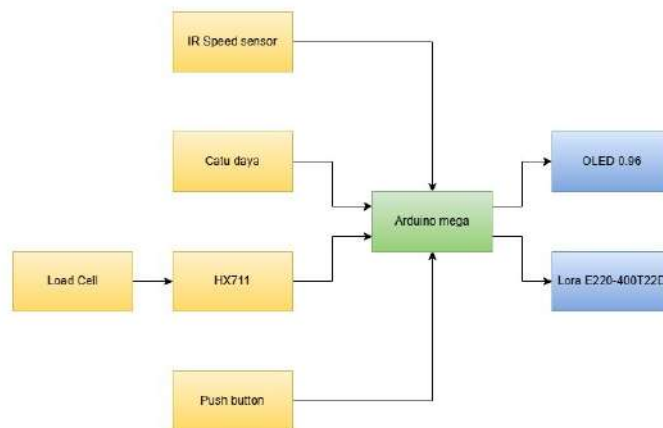
1. Arsitektur dan Perancangan Sistem

Sistem yang dikembangkan dibangun dalam tiga lapisan fungsional yang saling terintegrasi. Lapisan pertama adalah *node* pasien yang terpasang pada tiang infus, berfungsi mengakuisisi data secara langsung dari lingkungan fisik. Lapisan kedua adalah *gateway* yang berperan sebagai jembatan antara jaringan LoRa dan infrastruktur internet. Lapisan ketiga adalah *web server* yang menyediakan antarmuka visual bagi tenaga medis di *nurse station* (Samsiana dkk., 2024). Penelitian-penelitian terdahulu telah meletakkan fondasi yang kuat bagi pengembangan sistem ini. Rohman dkk. (2023) membuktikan bahwa sistem semacam ini mampu beroperasi efektif

pada kondisi *indoor* maupun *outdoor* hingga jangkauan 30 meter; Pratama dkk. (2021) mendemonstrasikan keandalan LoRa dalam transmisi data sensor; Muchtar dkk. (2022) memvalidasi kemampuan LoRa hingga jarak 1 km; sedangkan Rahmanto dkk. (2025) dan Wibowo dkk. (2023) mempertegas kecocokan LoRa untuk pemantauan jarak jauh yang tersebar di berbagai lokasi.

1.1 Perancangan Node Pasien

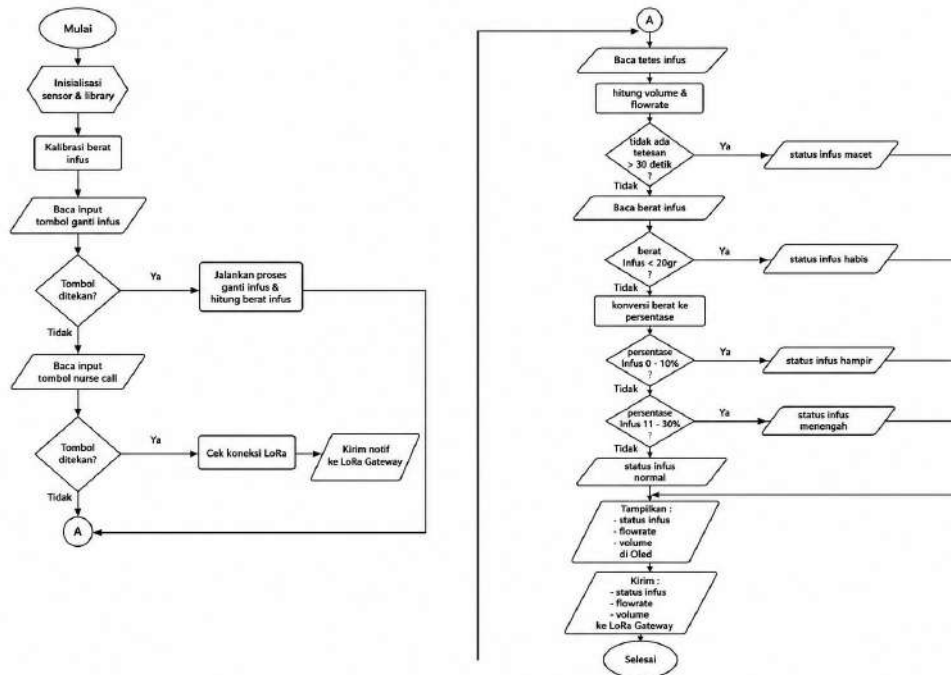
Node pasien dirancang sebagai komponen yang ditempatkan langsung di tiang infus pasien. Struktur logis sistem ini diilustrasikan pada blok diagram berikut.



Gambar 1. Blok Diagram Nodes

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, alur kerja node dimulai ketika sensor *load cell* membaca berat cairan infus, kemudian sinyal analog tersebut dikuatkan dan dikonversi melalui modul HX711 sebelum diteruskan ke Arduino. Bersamaan dengan itu, sensor inframerah juga memberikan input mengenai aliran tetesan, sedangkan tombol *nurse call* menyediakan jalur input manual dari pasien. Seluruh

informasi ditampilkan secara lokal melalui OLED dan dikirimkan ke *gateway* via komunikasi LoRa. Apabila tombol panggilan ditekan, sistem secara otomatis mentransmisikan sinyal *alert* sebagai notifikasi kepada perawat (Pangestu dkk., 2023).



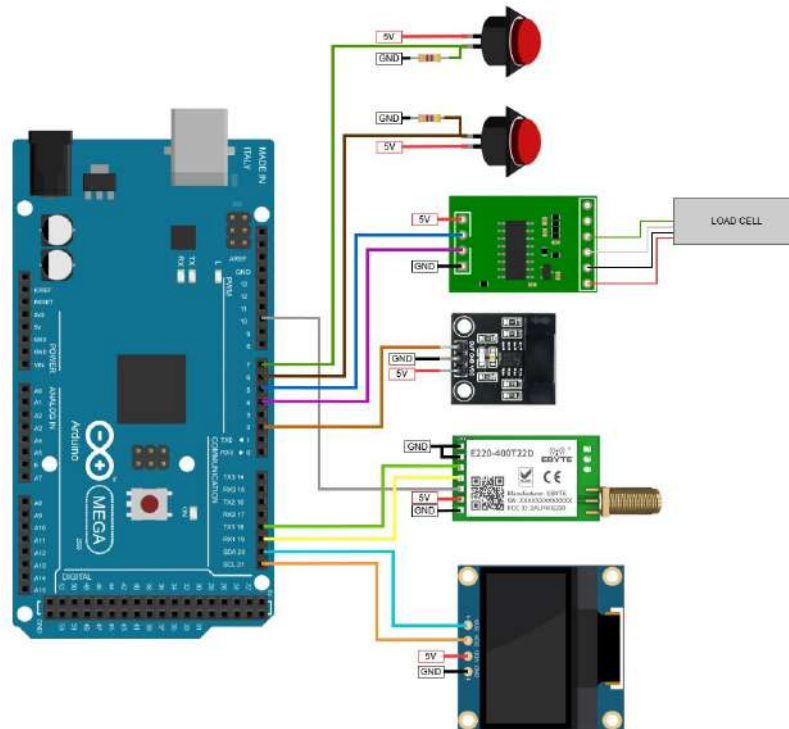
Gambar 3. 2 Flowchart Nodes

Gambar 2. Flowchart Nodes

Gambar 2 memperlihatkan alur logis sistem yang diawali dengan inisialisasi sensor dan *library*, dilanjutkan dengan kalibrasi berat infus menggunakan *load cell*. Setelah itu, sistem secara berkelanjutan membaca input dari tombol ganti infus dan tombol *nurse call*. Apabila tombol ganti infus ditekan, sistem menjalankan proses penggantian sekaligus melakukan rekalibrasi berat awal. Sebaliknya, ketika tombol *nurse call* diaktifkan, sistem memverifikasi koneksi LoRa lalu mengirimkan notifikasi ke *gateway*.

Selanjutnya, sistem melakukan pembacaan tetesan untuk menghitung *flowrate* dan volume cairan. Apabila tetesan tidak terdeteksi selama lebih dari 30 detik, sistem akan menetapkan status infus sebagai *macet*. Apabila tetesan masih terdeteksi, sistem membaca berat cairan dan mengklasifikasikan kondisi: berat di bawah 20 gram dikategorikan habis; persentase 0–10% sebagai hampir habis; 11–30% sebagai kondisi menengah; dan di atas itu sebagai kondisi normal. Seluruh

informasi kemudian ditampilkan pada OLED dan dikirim ke *gateway* untuk pemantauan jarak jauh.



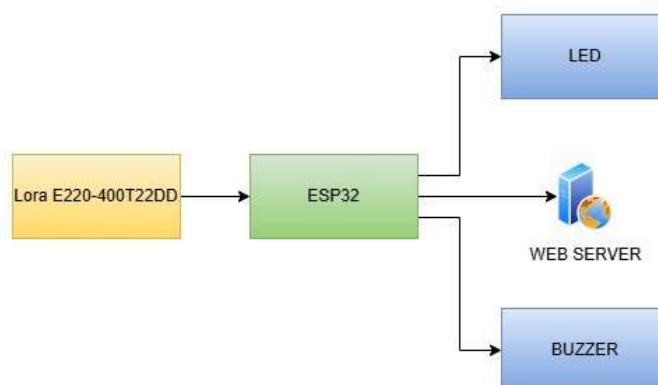
Gambar 3. Skema Nodes

Gambar 3 menampilkan rangkaian skematik node yang terdiri atas Arduino Mega sebagai pusat kendali, kombinasi Load Cell dan HX711 sebagai sensor berat, sensor IR sebagai pendeteksi tetesan, modul LoRa E220 sebagai jalur komunikasi jarak jauh, OLED Display sebagai tampilan lokal, serta dua *push button* yang berfungsi sebagai tombol *nurse call* dan tombol ganti infus.

1.2 Perancangan Gateway

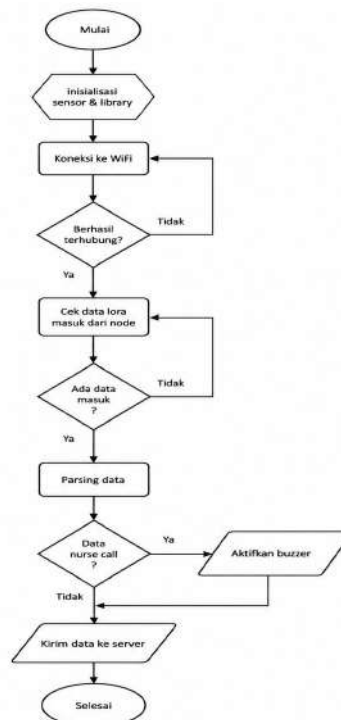
Gateway berperan sebagai pusat penerimaan dan pengolahan data dari

node pasien sebelum diteruskan ke *web server*. Berikut diagram blok dan diagram alir sistem gateway.



Gambar 4. Blok Diagram Gateway

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, alur kerja gateway dimulai ketika node mengirimkan data melalui komunikasi LoRa. Modul LoRa pada sisi gateway menerima paket data tersebut dan meneruskannya ke ESP32 melalui komunikasi serial. Selama proses parsing data, jika terdeteksi sinyal *nurse call*, sistem secara otomatis mengaktifkan buzzer dan langsung mengirim data ke *web server* untuk diteruskan ke *dashboard* perawat.



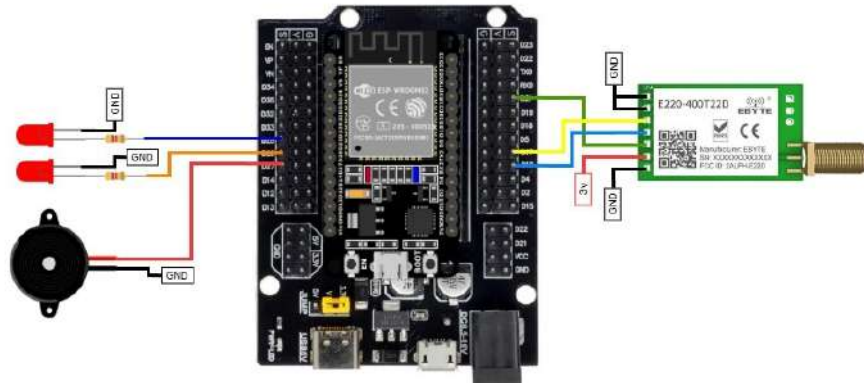
Gambar 3. 5 Flowchart Gateway

Gambar 5. Flowchart Gateway

Gambar 5 memperlihatkan bahwa sistem gateway diawali dengan inisialisasi sensor dan *library*, kemudian dilanjutkan dengan upaya koneksi ke jaringan WiFi. Apabila koneksi belum tersedia, sistem akan terus mencoba sampai berhasil terhubung. Setelah koneksi tercapai, sistem mulai memeriksa data masuk dari node pasien. Jika tidak terdapat data masuk, sistem mengulangi proses pengecekan secara terus-menerus.

Ketika data berhasil diterima, sistem melakukan *parsing* untuk memisahkan setiap parameter, lalu memeriksa apakah data tersebut merupakan sinyal *nurse call*. Bila terdeteksi panggilan, buzzer langsung diaktifkan sebagai notifikasi audio. Setelah itu, seluruh data yang sudah diproses dikirimkan ke server melalui internet untuk

keperluan penyimpanan dan monitoring. Siklus ini berlangsung secara berulang sehingga memungkinkan pemantauan *real-time* (Wibowo dkk., 2023).



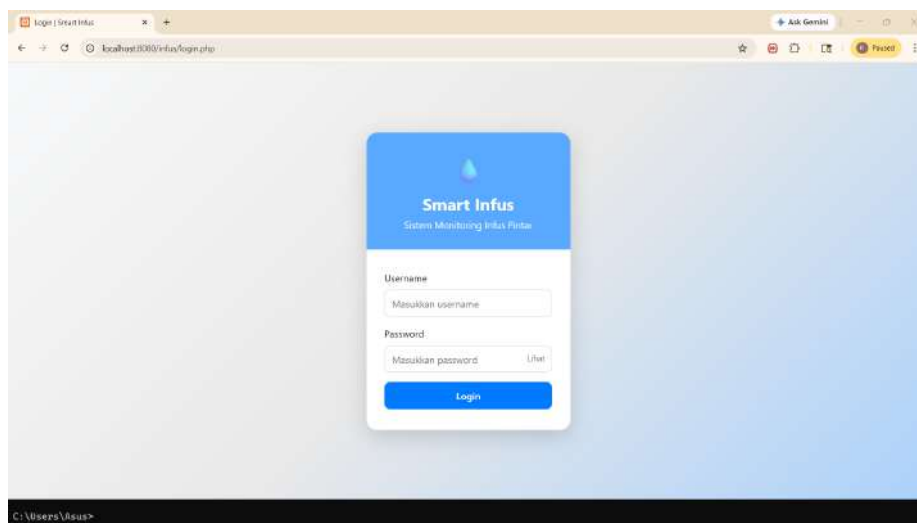
Gambar 6. Skema Gateway

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, sistem gateway tersusun atas ESP32 sebagai pusat kendali, modul LoRa E220 sebagai penerima data nirkabel, buzzer sebagai indikator audio ketika tombol *nurse call* ditekan, dan LED yang berfungsi sebagai indikator status pengiriman/penerimaan data LoRa serta status koneksi WiFi.

1.3 Perancangan Perangkat Lunak (Web Dashboard)

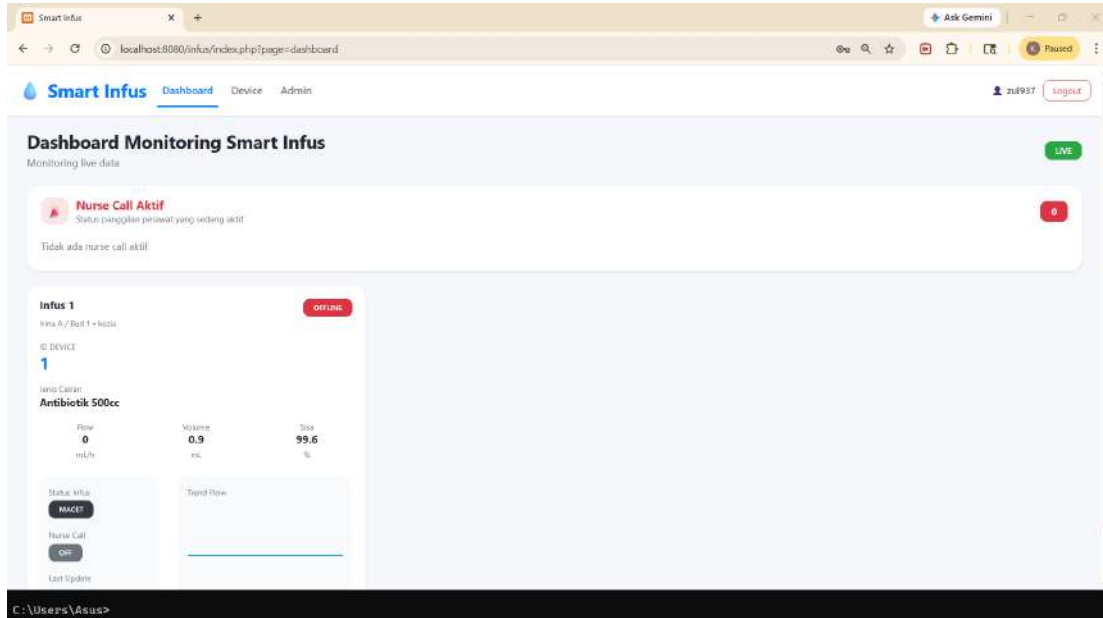
Antarmuka web dikembangkan sebagai media untuk menampilkan, mengelola, dan memantau data yang dikirim oleh

sistem LoRa. Pada penelitian ini, web *dashboard* berfungsi memantau status infus pasien sekaligus merespons panggilan *nurse call* (Hendrawati & Ruswandi, 2021).



Gambar 7. Tampilan Login Web

Halaman login pada Gambar 7 mewajibkan pengguna mengisi *username* dan *password* sebelum dapat mengakses sistem, sebagai bentuk pengamanan dasar terhadap pemantauan data pasien.



Gambar 8. Tampilan Dashboard Web

Halaman *dashboard* yang ditampilkan pada Gambar 8 menyajikan informasi nama *device*, lokasi/*bed*, nama pasien, dan jenis cairan infus, dilengkapi dengan parameter status infus dari node pasien yang meliputi *flow*, volume, persentase, serta status Normal/Macet. Selain itu, halaman ini juga menampilkan indikator *Nurse Call* yang akan menyala ketika ada panggilan dari pasien. Antarmuka tersebut dirancang sederhana agar perawat dapat membaca informasi dengan cepat tanpa perlu menavigasi banyak menu.

2. Pengujian dan Analisis Kinerja Sistem

Pengujian sistem dilakukan dalam dua skenario utama, yaitu pengujian *indoor* dan *outdoor*, masing-masing pada tiga variasi jarak: 5 meter, 10 meter, dan 20 meter. Pada setiap skenario, pengujian dilakukan sebanyak 15 kali ulangan untuk memperoleh data yang representatif dan dapat diandalkan

secara statistik. Parameter yang diukur meliputi waktu respons untuk status infus, deteksi tetesan, dan *nurse call* (Pratama dkk., 2021).

2.1 Hasil Pengujian Indoor

Pengujian *indoor* dilaksanakan di dalam gedung dengan menggunakan jaringan lokal sebagai infrastruktur koneksi. Hasil pengujian pada jarak 5 meter disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Indoor Jarak 5 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	5 Meter	5 Meter	9.99	9.23	4.19
2	5 Meter	5 Meter	9.80	8.79	4.37
3	5 Meter	5 Meter	11.35	8.61	2.77
4	5 Meter	5 Meter	9.16	7.68	4.59
5	5 Meter	5 Meter	10.24	8.95	3.84
6	5 Meter	5 Meter	9.87	9.12	4.12
7	5 Meter	5 Meter	11.02	7.84	2.95
8	5 Meter	5 Meter	9.45	8.67	3.67
9	5 Meter	5 Meter	10.76	9.05	4.28
10	5 Meter	5 Meter	9.68	7.92	3.51
11	5 Meter	5 Meter	11.19	8.73	2.83
12	5 Meter	5 Meter	10.05	9.28	4.45
13	5 Meter	5 Meter	9.92	7.76	3.09
14	5 Meter	5 Meter	10.33	8.58	2.76
15	5 Meter	5 Meter	11.08	9.01	3.98
RATA-RATA			10.26	8.61	3.69

Berdasarkan Tabel 1, dari 15 kali pengujian pada jarak 5 meter antara node dan gateway, sistem menunjukkan kinerja yang stabil. Nilai rata-rata waktu respons yang diperoleh adalah 10,26 detik untuk status infus, 8,61 detik untuk deteksi tetesan, dan 3,69 detik untuk *nurse call*. Pengujian ini menggunakan jaringan lokal sebagai infrastruktur.

Selanjutnya, hasil pengujian pada jarak 10 meter ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Indoor Jarak 10 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	10 Meter	10 Meter	9.75	8.64	4.03
2	10 Meter	10 Meter	19.50	9.48	7.16
3	10 Meter	10 Meter	12.74	13.22	2.22
4	10 Meter	10 Meter	10.28	9.12	3.45
5	10 Meter	10 Meter	10.64	8.73	6.78
6	10 Meter	10 Meter	13.57	12.45	2.89
7	10 Meter	10 Meter	9.83	10.28	4.67
8	10 Meter	10 Meter	17.92	9.67	5.12
9	10 Meter	10 Meter	11.46	11.34	2.34
10	10 Meter	10 Meter	8.38	8.95	6.05
11	10 Meter	10 Meter	12.12	13.08	3.98
12	10 Meter	10 Meter	12.05	10.76	4.21
13	10 Meter	10 Meter	11.77	9.21	7.03
14	10 Meter	10 Meter	9.91	12.67	2.56
15	10 Meter	10 Meter	10.25	8.84	5.87
RATA-RATA			12.01	10.43	4.56

Berdasarkan 15 kali pengujian pada jarak 10 meter yang ditunjukkan pada Tabel 2, sistem masih bekerja dengan baik meskipun terjadi peningkatan waktu respons. Nilai rata-rata yang diperoleh adalah 12,01 detik untuk status infus, 10,43 detik untuk tetesan, dan 4,56 detik untuk *nurse call*. Secara keseluruhan, sistem tetap stabil dan komunikasi LoRa berjalan andal, dengan *nurse call* menunjukkan waktu respons paling cepat dibandingkan parameter lainnya.

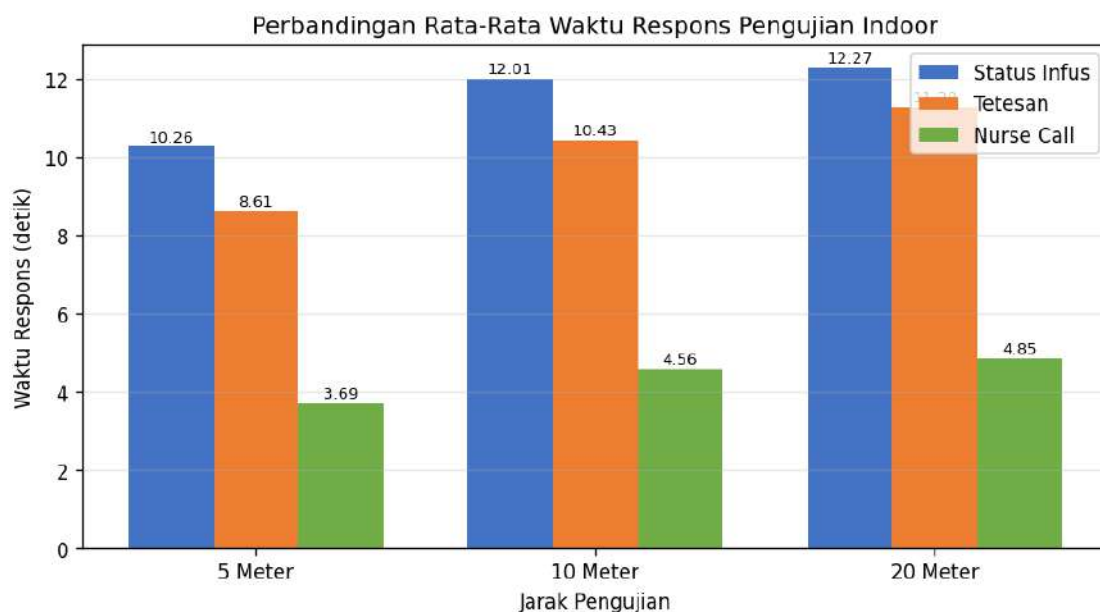
Tabel 3 menyajikan hasil pengujian pada jarak yang lebih jauh, yaitu 20 meter.

Tabel 3. Hasil Pengujian Indoor Jarak 20 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	20 Meter	20 Meter	10.42	11.59	5.70
2	20 Meter	20 Meter	15.08	13.49	6.00
3	20 Meter	20 Meter	10.79	8.64	3.43
4	20 Meter	20 Meter	10.68	9.43	4.65
5	20 Meter	20 Meter	15.20	13.38	5.77
6	20 Meter	20 Meter	15.24	10.29	4.38
7	20 Meter	20 Meter	10.34	8.63	5.91
8	20 Meter	20 Meter	10.66	13.59	3.76
9	20 Meter	20 Meter	11.12	11.23	4.45
10	20 Meter	20 Meter	10.27	11.14	6.07
11	20 Meter	20 Meter	10.72	9.43	4.89
12	20 Meter	20 Meter	15.19	9.23	6.07
13	20 Meter	20 Meter	13.59	13.32	4.71
14	20 Meter	20 Meter	11.31	12.97	3.56
15	20 Meter	20 Meter	13.42	12.85	3.42
	RATA	RATA	12.27	11.28	4.85

Berdasarkan Tabel 3, pengujian pada jarak 20 meter menghasilkan nilai rata-rata waktu respons 12,27 detik untuk status infus, 11,28 detik untuk tetesan, dan 4,85 detik untuk *nurse call*. Dibandingkan dengan jarak sebelumnya, terlihat peningkatan latensi yang gradual, namun sistem tetap menunjukkan kinerja yang stabil dan komunikasi LoRa masih berjalan andal. *Nurse call* tetap menjadi parameter dengan respons tercepat, menegaskan bahwa sistem masih efektif digunakan untuk monitoring dan notifikasi pada jarak tersebut.

Untuk perbandingan visual rata-rata setiap parameter pada pengujian *indoor*, hasilnya disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Rata-Rata Waktu Respons Pengujian Indoor

Gambar 9 secara visual menggambarkan tren peningkatan waktu respons seiring bertambahnya jarak pengujian. Tampak jelas bahwa *nurse call* konsisten menjadi

parameter dengan respons paling cepat di seluruh variasi jarak, sedangkan status infus dan tetesan menunjukkan rentang nilai yang relatif berdekatan.

2.2 Hasil Pengujian Outdoor

Skenario pengujian *outdoor* dilaksanakan di area terbuka dengan

kondisi lingkungan yang lebih variatif dibandingkan pengujian *indoor*. Hasil pengujian pada jarak 5 meter ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Outdoor Jarak 5 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	5 Meter	5 Meter	9.71	8.76	1.07
2	5 Meter	5 Meter	7.56	8.46	3.08
3	5 Meter	5 Meter	9.30	8.19	1.10
4	5 Meter	5 Meter	12.08	17.47	1.07
5	5 Meter	5 Meter	8.99	8.78	2.07
6	5 Meter	5 Meter	8.45	8.92	1.05
7	5 Meter	5 Meter	10.27	9.01	2.18
8	5 Meter	5 Meter	7.89	8.12	1.09
9	5 Meter	5 Meter	11.34	8.28	3.14
10	5 Meter	5 Meter	9.18	10.21	2.06
11	5 Meter	5 Meter	8.76	8.35	1.07
12	5 Meter	5 Meter	12.02	9.12	2.29
13	5 Meter	5 Meter	9.63	9.08	1.12
14	5 Meter	5 Meter	7.71	8.77	3.02
15	5 Meter	5 Meter	10.85	8.98	2.11
RATA-RATA			9.58	9.37	1.83

Berdasarkan Tabel 4, pada 15 kali pengujian di jarak 5 meter, sistem menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan rata-rata waktu respons 9,58 detik untuk status infus, 9,37 detik untuk tetesan, dan 1,83 detik untuk *nurse call*. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja cepat dan stabil, terutama pada fitur *nurse call* yang memiliki waktu respons paling rendah. Secara keseluruhan, komunikasi LoRa pada jarak dekat berjalan optimal dan sistem mampu melakukan monitoring serta notifikasi secara efektif.

Berikutnya, hasil pengujian *outdoor* pada jarak 10 meter ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Outdoor Jarak 10 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	10 Meter	10 Meter	13.35	12.54	7.57
2	10 Meter	10 Meter	8.64	8.64	1.07
3	10 Meter	10 Meter	9.95	9.26	1.70
4	10 Meter	10 Meter	10.76	8.99	4.38
5	10 Meter	10 Meter	6.51	12.13	4.81
6	10 Meter	10 Meter	11.28	11.48	2.45
7	10 Meter	10 Meter	9.47	9.73	6.78
8	10 Meter	10 Meter	12.03	8.92	1.32
9	10 Meter	10 Meter	8.92	10.65	4.67
10	10 Meter	10 Meter	10.15	12.01	5.09
11	10 Meter	10 Meter	7.68	9.58	1.88
12	10 Meter	10 Meter	13.12	8.77	3.54
13	10 Meter	10 Meter	9.83	11.29	7.12
14	10 Meter	10 Meter	6.94	10.34	4.26
15	10 Meter	10 Meter	10.67	9.86	2.97
RATA-RATA			9.95	10.28	3.97

Berdasarkan Tabel 5, pengujian pada jarak 10 meter menunjukkan kinerja yang cukup baik dengan rata-rata waktu respons 9,95 detik untuk status infus, 10,28 detik untuk tetesan, dan 3,97 detik untuk *nurse call*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tetap bekerja stabil dengan respons relatif cepat, di mana *nurse call* tetap menjadi fitur dengan respons paling cepat. Secara keseluruhan, komunikasi LoRa pada jarak 10 meter masih andal dan mampu mendukung proses monitoring serta notifikasi dengan baik.

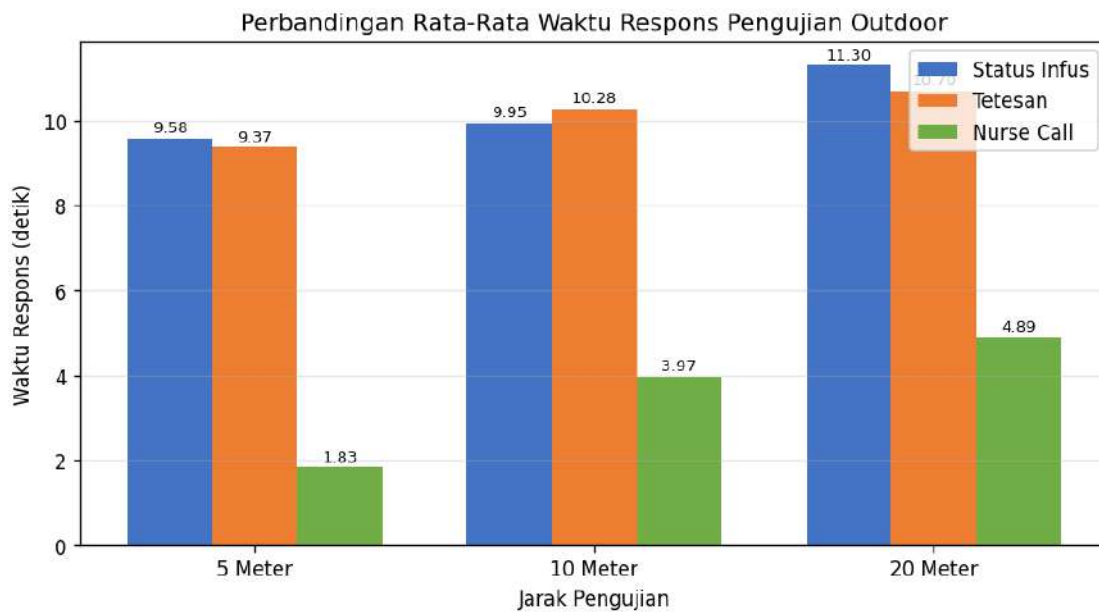
Terakhir, hasil pengujian *outdoor* pada jarak 20 meter ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Outdoor Jarak 20 Meter

uji coba	Jarak Sinyal		Hasil Responsif Status Infus	Hasil Responsif Tetesan	Hasil Responsif NurseCall
	Nodes	Gateway			
1	20 Meter	20 Meter	9.85	10.88	5.48
2	20 Meter	20 Meter	13.24	12.74	6.12
3	20 Meter	20 Meter	10.12	8.21	3.67
4	20 Meter	20 Meter	10.03	9.05	4.82
5	20 Meter	20 Meter	13.78	12.63	5.91
6	20 Meter	20 Meter	13.95	9.84	4.26
7	20 Meter	20 Meter	9.76	8.17	5.73
8	20 Meter	20 Meter	10.21	12.95	3.89
9	20 Meter	20 Meter	10.67	10.67	4.53
10	20 Meter	20 Meter	9.58	10.52	6.21
11	20 Meter	20 Meter	10.05	9.02	4.78
12	20 Meter	20 Meter	13.66	8.96	6.03
13	20 Meter	20 Meter	11.92	12.58	4.65
14	20 Meter	20 Meter	10.88	12.21	3.74
15	20 Meter	20 Meter	11.75	12.04	3.58
RATA-RATA			11.30	10.70	4.89

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian pada jarak 20 meter menunjukkan bahwa perangkat masih mampu bekerja dengan baik dan stabil. Nilai rata-rata yang diperoleh adalah 11,30 detik untuk status infus, 10,70 detik untuk tetesan, dan 4,89 detik untuk *nurse call*. Meskipun terjadi peningkatan latensi dibandingkan jarak yang lebih dekat, sistem tetap mampu mengirim dan memproses data dengan baik melalui komunikasi LoRa. *Nurse call* tetap memiliki waktu respons paling cepat sehingga sistem masih efektif memberikan notifikasi kepada perawat.

Untuk perbandingan visual rata-rata setiap parameter pada pengujian *outdoor*, hasilnya disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Rata-Rata Waktu Respons Pengujian Outdoor

Gambar 10 menggambarkan kecenderungan yang serupa dengan pengujian *indoor*, di mana waktu respons meningkat seiring bertambahnya jarak. Namun pada kondisi *outdoor*, *nurse call* pada jarak 5 meter mencatatkan rekor waktu respons tercepat di seluruh skenario, yakni 1,83 detik, yang kemungkinan disebabkan oleh minimnya hambatan fisik di area terbuka.

2.3 Diskusi Komprehensif

Analisis perbandingan antara hasil pengujian *indoor* dan *outdoor* mengungkapkan beberapa pola menarik. Pertama, waktu respons *nurse call* secara konsisten lebih singkat dibandingkan parameter monitoring infus lainnya di semua skenario pengujian, hal ini mengindikasikan bahwa sistem berhasil mengimplementasikan mekanisme prioritas transmisi untuk sinyal darurat. Kedua, peningkatan jarak secara umum berkorelasi positif dengan peningkatan

latensi, meskipun hubungan tersebut tidak sepenuhnya linier, yang menunjukkan adanya faktor lingkungan yang turut memengaruhi kualitas transmisi LoRa (Muchtar dkk., 2022).

Ketiga, rata-rata waktu respons keseluruhan sistem berada dalam kisaran 9–12 detik untuk monitoring infus dan 1–5 detik untuk *nurse call*, angka-angka ini tergolong dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi klinis mengingat toleransi waktu respons dalam konteks monitoring infus tidak seketat sistem alarm medis berbasis ECG atau

saturasi oksigen (Pangestu dkk., 2023). Keempat, tidak ditemukan kegagalan transmisi data yang signifikan pada semua skenario pengujian, yang membuktikan keandalan LoRa sebagai medium komunikasi dalam lingkungan rumah sakit (Wibowo dkk., 2023).

Apabila dibandingkan dengan penelitian sejenis, temuan Rohman dkk. (2023) menunjukkan bahwa sistem berbasis mikrokontroler sederhana mampu beroperasi baik pada jarak hingga 30 meter, sementara sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan LoRa yang secara teoritis mampu menjangkau hingga 10 km (Nurhadi dkk., 2021). Hal ini menempatkan sistem yang dikembangkan pada posisi yang jauh lebih unggul dari sisi skalabilitas dan potensi penerapan di fasilitas kesehatan berskala besar.

D. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilaksanakan, sistem monitoring infus pintar dan *nurse call* berbasis Internet of Things (IoT) dengan teknologi komunikasi LoRa telah berhasil dikembangkan dan diverifikasi kinerjanya. Sistem yang dibangun terbukti mampu memantau

kondisi infus secara *real-time* melalui pembacaan berat cairan dan deteksi aliran tetesan, serta mampu mengklasifikasikan kondisi infus menjadi empat status: normal, hampir habis, kondisi menengah, dan macet. Fitur *nurse call* berfungsi dengan sangat baik, memberikan notifikasi cepat melalui buzzer dengan waktu respons rata-rata 1–5 detik yang jauh lebih singkat dibandingkan waktu respons monitoring infus (Rohman dkk., 2023; Samsiana dkk., 2024).

Hasil pengujian pada berbagai kondisi dan jarak membuktikan bahwa komunikasi LoRa beroperasi secara andal meskipun terjadi peningkatan latensi yang proporsional dengan bertambahnya jarak. Rata-rata waktu respons monitoring infus pada jarak 5 meter berkisar 9–10 detik, meningkat menjadi 10–12 detik pada jarak 10 meter, dan 11–12 detik pada jarak 20 meter. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi pemantauan infus, mempercepat respons tenaga medis, dan berpotensi meningkatkan mutu pelayanan kesehatan di Rumah Sakit Bhayangkara Manado. Ke depannya, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada perluasan jangkauan pengujian

hingga ratusan meter, integrasi dengan sistem informasi rumah sakit yang sudah ada, serta pengembangan fitur analitik prediktif untuk estimasi habisnya cairan infus (Setiawan dkk., 2024; Nurhadi dkk., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino LLC. (n.d.). Arduino Mega 2560 Rev3: Technical documentation and CAD files. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560-schematic.pdf>
- Hendrawati, T. D., & Ruswandi, R. A. (2021). Sistem pemantauan tetesan cairan infus berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 1(1), 25–32.
- Muchtar, H., Prasetyo, I., & Isyanto, H. (2022). Desain pembuatan alat pemantauan temperatur dan kelembaban dengan menggunakan teknologi LoRa. *Jurnal Teknologi Elektro*, 5(2), 145–150.
- Nasir, M., & Yanuar, F. (2021). Penerapan IoT pada sistem pengontrolan lampu dan AC berbasis Raspberry Pi. *Jurnal Rekayasa Elektroika*, 5(1), 1–7.
- Nurhadi, A. A., Darlis, D., & Murti, M. A. (2021). Implementasi modul komunikasi LoRa RFM95W pada sistem pemantauan listrik 3 fasa berbasis IoT. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 13(1).
- Pangestu, G. A., Purnama, S. I., & Afandi, M. A. (2023). Sistem monitoring kondisi infus otomatis berbasis notifikasi Telegram. *Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 22(4), 893–903.
- Pratama, A., Amrita, A. A. N., & Khrisne, D. C. (2021). Rancang bangun sistem monitoring listrik tiga fasa berbasis wireless sensor network menggunakan LoRa Ra-02 SX1278. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(2).
- Priyandoko, G. (2021). Rancang bangun sistem portable monitoring infus berbasis Internet of Things. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 3, 56–61.
- Rahmanto, Y., Bob, J., Haloho, C., & Fazhri, M. R. (2025). Rancang bangun sistem kontrol: Implementasi LoRa untuk pemantauan jarak jauh pada lampu penerangan jalan berbasis tenaga surya. *Jurnal Teknik Elektro dan Sains*, 8(1), 1006–1018.
- Rohman, A., Umam, B. A., & Makruf, M. (2023). Rancang bangun monitoring tetesan infus macet di nurses station berbasis mikrokontroler Puskesmas Kamoning. *Jurnal Kesehatan dan Teknologi*, 20(4), 97–106.
- Samsiana, S., Supranto, S., Okta, F. C., Sikki, M. I., Hasad, A., & Paronda, A. H. (2024). Infusion bottle monitoring system based on IoT. *BISTYCS: Bulletin of Information Science, Technology, and Computer Sciences*, 1, 1–8. <https://doi.org/10.31603/bistycs.120>
- Setiawan, A., Nawawi, I., & Setiawan, H. T. (2024). Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol smart infusion. *Jurnal Penelitian Teknik Informatika*, 3(3), 172–181.
- Syaifudin, A., & Chamidah, N. (2023). Prototipe alat monitoring suhu dan kelembaban pada rumah penyimpan tembakau berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik Elektro dan Sains*, 13, 177–182.
- Waduma, A. A., Romzy, M., & Manoppo, S. (2023). SmartCare+: Sistem IoT pervasif untuk

monitoring kesehatan lansia di rumah. Prosiding Seminar Nasional Komputasi Awan.

Wibowo, A., Lora, R., & Ebyte, E. (2023). Sistem monitoring ruang server berbasis Internet of Things menggunakan komunikasi wireless LoRa Ebyte E32. *Jurnal Informatika dan Teknologi*, 6(3), 222–231.