

Smart Infusion Digitalization Based on IoT, Long-Range Communication, and Cloud

Adam Ananta¹, Muhammad Nasir^{2*}, Umri Erdiansyah³

^{1,2,3} Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

Informasi Artikel

Diterima : 23 Maret, 2024
Revisi : 23 Juni 2024
Publikasi : 23 Agustus 2024

Kata Kunci:

Cloud Computing
Infus
Internet Of Things
Long Range
Pemantauan

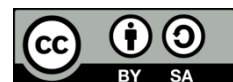
ABSTRAK

Saat ini, pemantauan cairan infus dilakukan dengan cara mengunjungi setiap pasien secara berkala, baik saat terjadi penyumbatan maupun tidak. Untuk mengatasi tantangan ini, dikembangkan sebuah sistem berbasis Internet of Things (IoT), Long Range (LoRa) pada frekuensi 2.4 GHz, dan Cloud yang dinamakan sistem digitalisasi smart infus. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam pemberian cairan infus, memudahkan perawat dalam melakukan pemantauan secara real-time, serta menyediakan data yang akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan protokol MQTT pada sistem ini memberikan hasil yang baik, dengan delay yang bervariasi antara 42 ms (5 menit), 84,3 ms (10 menit), dan 73,8 ms (15 menit), serta tingkat packet loss yang sangat rendah, yaitu 0,03% pada 5 menit, 0,02% pada 10 menit, dan 0,01% pada 15 menit. Selain itu, throughput sistem tetap stabil dengan nilai 92,6 Kbps pada 5 menit, 83,8 Kbps pada 10 menit, dan 86,2 Kbps pada 15 menit. Pada pengujian LoRa tanpa penghalang, persentase packet loss tetap rendah hingga jarak 10 meter, dengan nilai 0%, namun mulai meningkat hingga mencapai 68,29% pada jarak 25 meter. Pengujian dengan penghalang menunjukkan penurunan kualitas sinyal yang lebih drastis, dengan packet loss sebesar 6,98% pada jarak 5 meter, dan meningkat hingga 70,97% pada jarak 25 meter.

ABSTRACT

Currently, the monitoring of infusion fluids is performed by periodically checking each patient, regardless of whether there is an obstruction or not. To address this challenge, a system based on the Internet of Things (IoT), Long Range (LoRa) at a 2.4 GHz frequency, and Cloud technology, known as the digital smart infusion system, has been developed. This system aims to enhance the efficiency and safety of infusion fluid delivery, facilitate real-time monitoring by nurses, and provide accurate and up-to-date data. The testing results indicate that the implementation of the MQTT protocol in this system yields positive outcomes, with delay times varying between 42 ms (5 minutes), 84.3 ms (10 minutes), and 73.8 ms (15 minutes), along with very low packet loss rates of 0.03% at 5 minutes, 0.02% at 10 minutes, and 0.01% at 15 minutes. Additionally, the system's throughput remains stable, with values of 92.6 Kbps at 5 minutes, 83.8 Kbps at 10 minutes, and 86.2 Kbps at 15 minutes. In tests of LoRa without obstructions, packet loss percentages remain low up to a distance of 10 meters, with a value of 0%, but then increase to 68.29% at 25 meters. Tests with obstructions show a more drastic decline in signal quality, with packet loss reaching 6.98% at 5 meters and increasing to 70.97% at 25 meters.

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



*Penulis Koresponden

Email: muhnasir.tmj@pnl.ac.id

Cara sitasi IEEE:

- [1] A. Ananta, M. Nasir, and U. Erdiansyah, "Smart Infusion Digitalization Based on IoT, Long-Range Communication, and Cloud" *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 123-134, Nov.2024. doi: 10.30811/jaise.v4i2.6135

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang kesehatan, kebutuhan akan informasi yang cepat dan akurat semakin meningkat. Upaya pengembangan teknologi di bidang kesehatan terus meningkat, baik pada layanan maupun perawatan langsung. Penggunaan internet yang sering digunakan dalam pelayanan kesehatan saat ini adalah pada bidang pelayanan registrasi pasien, dimana banyak rumah sakit yang sudah menggunakan sistem informasi registrasi berbasis internet. Selain itu, kurangnya sumber daya seperti tenaga perawat yang mencukupi atau peralatan medis yang memadai juga dapat memperparah situasi ini. Akibatnya, pasien yang membutuhkan perhatian khusus terkait infus mereka mungkin tidak mendapatkan penanganan yang optimal dan tepat waktu.

Di sisi lain, keterlambatan dalam penanganan infus pasien yang menjalani perawatan di rumah juga menjadi permasalahan yang signifikan. Perawat yang harus melakukan kunjungan rumah secara rutin seringkali menghadapi kendala jarak tempuh, kondisi lalu lintas, serta keterbatasan waktu. Internet of things atau sering disebut IoT adalah sebuah gagasan dimana semua benda di dunia nyata dapat berkomunikasi satu dengan yang lain sebagai bagian dari satu kesatuan sistem terpadu menggunakan jaringan internet sebagai penghubung. Dengan menerapkan IoT pada monitoring dan pengontrolan maka permasalahan yang ada selama ini dapat diminimalisasikan, seperti monitoring cairan infus dapat di monitoring dan di kontrol secara *real-time* dari jarak jauh[1]. Protokol komunikasi long range atau LoRa digunakan untuk pengiriman data dengan jangkauan yang luas. LoRa adalah teknologi nirkabel berdaya rendah yang memanfaatkan spektrum radio pada frekuensi 433 MHz, 868 MHz, atau 915 MHz, tergantung pada regulasi di setiap negara[2].

Tinjauan teoritis membahas secara mendalam teori-teori yang relevan, seperti *internet of things*, infus, *ESP32*, *optocoupler*, *load cell*, *loang range*, *cloud computing*, dan *MQTT*, yang akan digunakan untuk menganalisis data dan menjawab permasalahan penelitian.

1.1 Internet of Things

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan interkoneksi perangkat fisik, objek, atau sistem yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas internet. Perangkat-perangkat ini mampu mengumpulkan dan berbagi data secara otomatis, memungkinkan interaksi dan otomatisasi berbagai proses. IoT adalah Sumber data dapat berasal dari berbagai perangkat elektronik yang terhubung melalui sensor yang selalu aktif, baik ke jaringan lokal maupun global konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus[4]. Dengan kata lain, IoT memungkinkan kita untuk menghubungkan dunia fisik dengan dunia digital, menciptakan ekosistem yang lebih cerdas dan efisien.

Mekanisme kerja IoT melibatkan pengumpulan data melalui sensor, pengiriman data melalui jaringan internet, dan pemrosesan data untuk menghasilkan informasi yang berguna. Cara kerja dari IoT ini adalah saat *user* berada di daerah manapun asal bisa terjangkau oleh koneksi internet tetap bisa memantau bahkan menjalankan sistem yang ada[5]. Manfaat IoT sangat luas, mulai dari peningkatan efisiensi dalam berbagai sektor industri hingga peningkatan kualitas hidup. Contohnya, dalam bidang rumah tangga, IoT memungkinkan kita untuk mengontrol perangkat rumah tangga secara jarak jauh dan menciptakan rumah pintar.

1.2 Cairan Infus

Cairan infus adalah solusi cair yang diberikan kepada pasien melalui pembuluh darah menggunakan perangkat medis seperti selang infus dan jarum. Cairan infus bekerja dengan mengandalkan gravitasi, yaitu mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Aliran cairan ini dikontrol menggunakan klem pada selang infus. Apabila klem dipersempit, aliran cairan akan melambat, ditandai dengan sedikitnya tetesan cairan per menit. Sebaliknya, jika klem diperlebar, aliran cairan akan semakin cepat [6].

Infus juga dapat diartikan sebagai alat kesehatan untuk memasukkan cairan ke dalam tubuh pasien secara otomatis melalui intravena (pembuluh darah) dalam jumlah tertentu dan dilakukan secara terus menerus dalam jangka waktu tertentu.

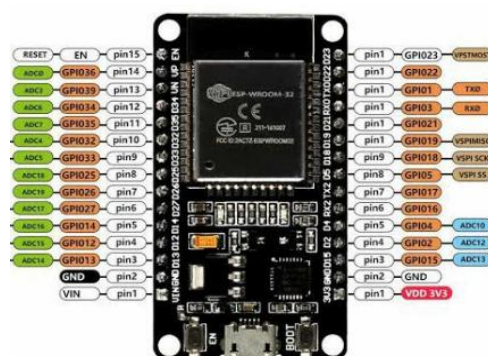
Pada sistem konvensional, perawat harus terus mengecek laju infus dalam interval tertentu. Ketika cairan infus hampir habis atau mencapai leher botol, infus harus segera diganti. Pemeliharaan laju aliran infus sangat penting untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh pasien. Jika aliran infus terlalu lambat, dapat menyebabkan defisit cairan dalam tubuh karena masukan cairan tidak seimbang dengan pengeluaran, yang berpotensi memperlambat pemulihan keseimbangan tubuh pasien[3].



Gambar 1. Cairan Infus

1.3 ESP32

ESP32 adalah sebuah modul mikrocontroller yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dirancang khusus untuk aplikasi Internet of Things dan sistem embedded. Chip ini menggunakan arsitektur Xtensa 32-bit dengan dua inti prosesor, yang memungkinkan pemrosesan paralel dan meningkatkan efisiensi serta performa. *ESP32* dilengkapi dengan memori RAM dan flash internal untuk mendukung operasional dan penyimpanan data. Fitur utamanya termasuk konektivitas Wi-Fi dan *Bluetooth*, yang mendukung berbagai protokol komunikasi seperti IEEE 802.11 b/g/n untuk Wi-Fi dan *Bluetooth Classic* serta BLE. Chip ini juga menawarkan banyak pin GPIO untuk input dan output digital, serta dukungan untuk komunikasi serial, PWM, ADC, DAC, dan fungsi lainnya. Dengan efisiensi energi yang tinggi, *ESP32* menyediakan berbagai mode daya rendah, yang sangat penting untuk aplikasi berbasis baterai. Platform ini mendukung berbagai framework pengembangan seperti *ESP-IDF*, *Arduino IDE*, dan *PlatformIO*, serta menawarkan banyak perpustakaan dan API untuk mempercepat proses pengembangan. *ESP32* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk smart home, prototyping, otomasi industri, dan kontrol, berkat fleksibilitas dan kemudahan penggunaannya. Selain itu, chip ini dilengkapi dengan fitur keamanan seperti enkripsi AES dan dekripsi RSA, yang melindungi data dan komunikasi dari ancaman.



Gambar 2. Module ESP32

1.4 Sensor Optocoupler

Optocoupler merupakan komponen elektronik yang berfungsi sebagai isolator optik antara dua rangkaian listrik. Prinsip kerjanya melibatkan pemanfaatan cahaya inframerah yang tidak terlihat mata. Ketika arus listrik mengalir melalui LED inframerah pada *optocoupler*, cahaya inframerah akan dipancarkan. Cahaya ini kemudian diterima oleh fototransistor yang mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Dengan demikian, sinyal listrik dapat ditransmisikan dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya tanpa adanya kontak fisik langsung. Proses ini memungkinkan isolasi galvanik yang efektif, mencegah gangguan listrik dari satu rangkaian merambat ke rangkaian lainnya. Arus *forward bias* yang mengalir pada PN junction menyebabkan hole

terinjeksi ke dalam tipe P, yang biasanya dikenal dengan penginjeksian minority carrier. Mekanisme inilah yang memungkinkan optocoupler berfungsi sebagai penghubung yang aman dan efisien antara dua rangkaian listrik.



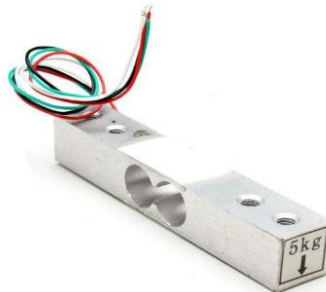
Gambar 3. Sensor Optocoupler

1.5 Sensor Load Cell

Sensor *Load Cell* adalah perangkat transduser yang digunakan untuk mengukur atau mendeteksi gaya atau beban yang bekerja pada suatu objek. Fungsi utama dari sensor load cell adalah mengubah gaya yang bekerja pada objek menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan diinterpretasikan. Ini memungkinkan pengukuran presisi dari beban yang diterapkan pada objek, yang penting dalam berbagai aplikasi seperti pengukuran berat, pengukuran tekanan, dan pengendalian proses industri.

Pengertian lain dari *load cell* adalah suatu alat transduser yang menghasilkan output yang proporsional dengan beban atau gaya yang diberikan. *Load cell* dapat memberikan pengukuran yang akurat dari gaya dan beban. Load cell digunakan untuk mengkonversikan regangan pada logam ke tahanan variabel. Melalui pengaturan mekanik, kekuatan yang merasakan deformasi suatu strain gauge[7].

Di setiap *load cell* terhubung dengan transmitter atau strain gauge yang berfungsi sebagai sebagai pengolahan sinyal analog dan dapat mengkonversi nilai hasil tegangan keluaran tersebut menjadi massa berat dan menampilkannya pada monitor display cabinet. Piranti ini dirancang untuk mengukur gaya tekanan mekanis, gaya regangan, gaya pemampatan (kompresi), atau gaya punter yang bekerja pada sebuah objek. Ketika batang atau cincin logam piranti ini berada di bawah tekanan tegangan yang timbul pada terminal-terminalnya dapat dijadikan rujukan untuk mengukur besarnya gaya[8]. Berikut gambar dari sensor load cell.



Gambar 4. Sensor Load Cell

1.6 Long Range

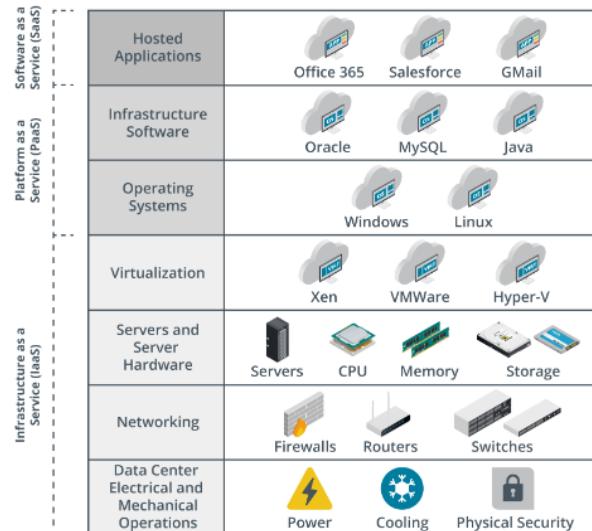
Long Range (LoRa) adalah sebuah teknologi nirkabel yang dirancang untuk mentransmisikan data jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Teknologi ini sering digunakan dalam konteks IoT dan aplikasi yang memerlukan komunikasi nirkabel dengan jarak jauh. LoRa menggunakan modulasi radio khusus yang memungkinkan sinyalnya untuk mencapai jarak yang jauh sambil tetap efisien dalam hal penggunaan daya baterai. Ini membuatnya ideal untuk penggunaan dalam pemantauan jarak jauh, sistem pertanian pintar, perangkat kendaraan otonom, dan banyak aplikasi lainnya yang membutuhkan komunikasi jarak jauh dengan daya tahan baterai yang tinggi.

Pengertian lain dari *Long range* (LoRa) merupakan sistem komunikasi nirkabel untuk internet of things IoT yang menawarkan komunikasi secara jarak jauh dan berdaya rendah. *Long range* (LoRa) yang hemat dalam penggunaan daya ini disebabkan oleh model komunikasi asinkronus, yang berarti suatu node hanya akan melakukan komunikasi apabila ada daya yang akan dikirimkan. Sederhananya, long range (LoRa) merupakan sebuah teknologi yang berfungsi untuk mengirimkan informasi melalui sensor kepada gateway yang telah dipasang di suatu tempat[9].

1.7 Cloud Computing

Cloud Computing merupakan sebuah mekanisme, dimana sekumpulan teknologi informasi resource yang saling terhubung dan nyaris tanpa batas, baik itu infrastruktur maupun aplikasi dimiliki dan dikelola sepenuhnya oleh pihak ketiga sehingga memungkinkan customer untuk menggunakan *resource* tersebut secara *on-demand* melalui *network* baik yang sifatnya jaringan *private* maupun *public*. *Cloud Computing* juga diartikan sebuah model *client-server*, di mana *resources* seperti *server*, *storage*, *network* dan *software* dapat dipandang sebagai layanan yang dapat diakses oleh pengguna secara *remote* dan setiap saat (Riana, 2020).

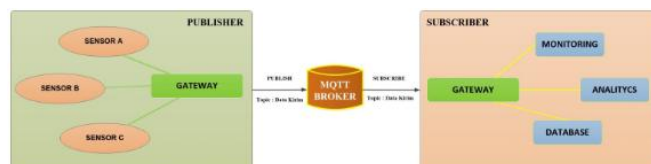
Layanan *cloud* biasanya disediakan oleh penyedia layanan *cloud* seperti *Amazon Web Services (AWS)*, *Microsoft Azure*, *Google Cloud*, dan banyak lagi. *Cloud computing* telah menjadi dasar untuk berbagai aplikasi dan layanan, termasuk penyimpanan data, pengembangan perangkat lunak, analisis data, dan banyak lagi, yang mengubah cara kita menyimpan, mengelola, dan mengakses informasi dan sumber daya komputasi. Berikut gambar beberapa layanan *Cloud Service Provider*.



Gambar 5. Model Layanan Cloud

1.8 Message Queue Telemetry Protocol

MQTT atau singkatan dari *Message Queuing Telemetry Transport*, merupakan protokol ringan yang dirancang khusus untuk komunikasi mesin-ke-mesin. Protokol ini bekerja berdasarkan mekanisme *publish-subscribe*, di mana perangkat (*publisher*) mengirimkan data (pesan) ke sebuah broker, dan perangkat lain (*subscriber*) yang berminat dengan data tersebut akan berlangganan pada topik tertentu. Broker bertindak sebagai *server* pusat yang mengelola lalu lintas data antara *publisher* dan *subscriber*. Setiap pesan yang dikirimkan harus memiliki topik yang spesifik, sehingga memastikan data terkirim ke penerima yang tepat. Dengan menggunakan MQTT, sistem dapat secara efisien mendistribusikan data real-time dari berbagai sensor dan perangkat, memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh secara efektif.

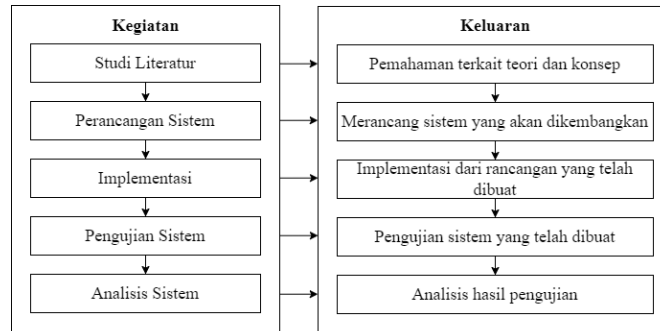


Gambar 6. Desain Sistem MQTT[10]

2. METODE

2.1 Tahapan Penelitian

Dalam penyusunan penelitian terhadap suatu penyelesaian masalah diperlukan kerangka kerja penelitian yang terstruktur.



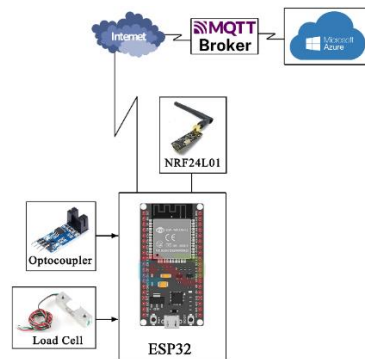
Gambar 7. Tahapan Penelitian

Berdasarkan gambar 7 kerangka kerja penelitian diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

- Studi Literatur
Pada tahap ini mencari berbagai referensi yang relevan berupa jurnal, dan referensi-referensi terbaik melalui perpustakaan maupun artikel yang berkaitan dengan penelitian.
- Perancangan Sistem
Tahap perancangan sistem ini bertujuan untuk menguraikan rencana yang akan diimplementasikan dalam penelitian.
- Implementasi
Pada tahapan ini mengimplementasikan sistem berdasarkan gambaran yang telah dirancang.
- Pengujian Sistem
Tahap ini melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai yang diharapkan.
- Analisis Sistem
Tahap terakhir adalah melakukan analisis terhadap hasil pengujian dan pengembangan sistem.

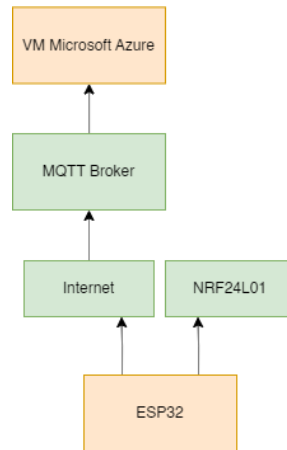
2.2. Physical Layer

Physical Layer merujuk pada penjelasan tentang struktur perancangan sistem yang telah dibuat. Dalam perancangan ini, terdapat representasi visual sistem secara keseluruhan dalam bentuk blok diagram. Diagram tersebut menggambarkan secara menyeluruh sistem yang akan dicapai dalam penelitian.

Gambar 8. Rancangan *Physical Layer*

2.3. Network Layer

Lapisan jaringan (*network layer*) dalam penelitian ini bertanggung jawab untuk memastikan transmisi data yang efisien dari sensor yang terhubung ke ESP32, termasuk *load cell* dan sensor inframerah, menuju broker MQTT dan selanjutnya ke *cloud*. ESP32 dengan kemampuan *Wi-Fi*, mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya melalui protokol jaringan yang tepat. Hal ini memungkinkan data dikirimkan ke broker MQTT, yang kemudian mengarah ke lingkungan *cloud* untuk analisis dan pemantauan yang lebih lanjut. Berikut gambar rancangan *network layer* yang diimplementasikan pada penelitian kali ini.

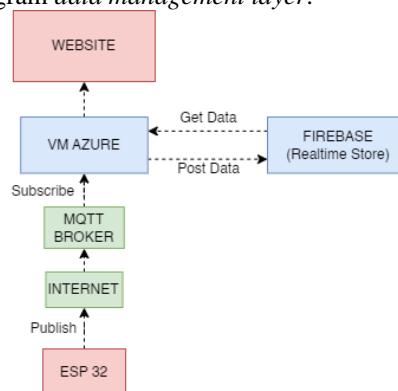
Gambar 9. Rancangan *Network Layer*

2.4. *Data Management Layer*

Data management layer bertanggung jawab untuk mengelola data yang diterima dari lapisan jaringan (*network layer*), termasuk penyimpanan dan pemrosesan data. Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan dari sensor melalui ESP32 dan diteruskan oleh *network layer* ke broker MQTT akan dikelola oleh *data management layer*. Proses ini mencakup penyimpanan data secara *real-time* menggunakan *Firestore Realtime Database*, serta penyajian data melalui aplikasi *web* yang dijalankan di lingkungan komputasi *Azure Virtual Machine*.

Teknologi yang digunakan dalam *data management layer* meliputi *Firestore Realtime Database* dan *Virtual Machine Azure*. *Firestore* berfungsi sebagai *database NoSQL* yang memungkinkan sinkronisasi data antar perangkat secara *real-time*, sehingga setiap perubahan pada data segera terdistribusi ke semua klien yang terhubung. Di sisi lain, *Azure Virtual Machine* menyediakan lingkungan komputasi yang dapat diandalkan untuk menjalankan aplikasi yang mengelola data tersebut, termasuk aplikasi *web* yang dirancang untuk memvisualisasikan data yang tersimpan di *Firestore*.

Komponen utama dalam *data management layer* mencakup *Firestore* dan aplikasi *web*. *Firestore* berperan dalam menyimpan data yang diterima dari broker MQTT, sedangkan aplikasi *web*, yang di *deploy* di *Azure Virtual Machine*, memungkinkan pengguna untuk mengakses dan menampilkan data secara *real-time*. Berikut gambar rancangan blok diagram *data management layer*.

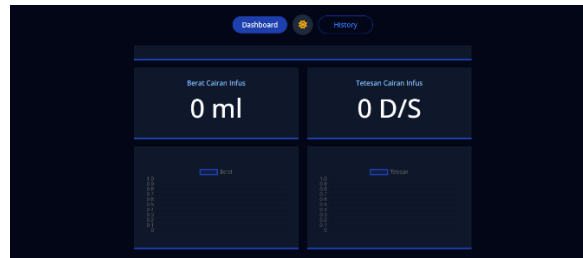
Gambar 10. Rancangan *Data Management Layer*

2.5. *Application Layer*

Lapisan aplikasi (*application layer*) dalam penelitian ini berfungsi untuk menyediakan antarmuka pengguna dan layanan yang dibutuhkan oleh pengguna akhir. Lapisan ini bertindak sebagai jembatan antara data yang dikelola oleh *data management layer* dan pengguna, memungkinkan interaksi dan kontrol yang lebih mudah terhadap sistem yang dikembangkan. Melalui lapisan aplikasi ini, pengguna dapat memantau data berat dan tetapan cairan infus yang terkait dengan kinerja sistem.

Dalam penelitian ini, teknologi yang digunakan untuk membangun lapisan aplikasi meliputi aplikasi *web* yang dibangun dengan kombinasi bahasa pemrograman dan *framework web*. Aplikasi *web* ini menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif, memanfaatkan *framework Vue.js* untuk *frontend* dan *Express* untuk

backend, dengan Node.js sebagai runtime JavaScript-nya. Vue.js digunakan untuk mengembangkan antarmuka pengguna yang responsif dan interaktif, sedangkan Express digunakan untuk membangun API yang mengelola permintaan dan respons antara klien dan server. Berikut gambar rancangan application layer.



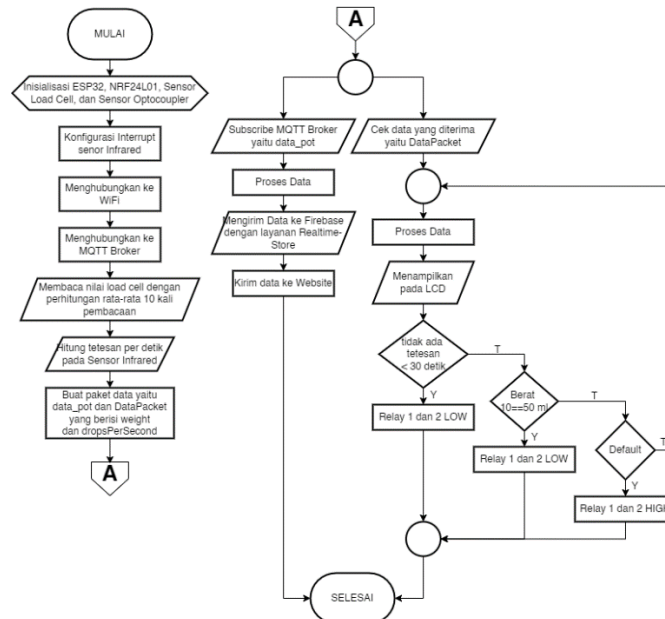
Gambar 11. Rancangan Dashboard



Gambar 12. Rancangan History

2.6. Flowchart

Prototipe pada penelitian ini merupakan sistem yang dirancang sebagai pemantauan dan cairan infus. Sistem ini dibuat untuk bisa memantau tetesan dan berat cairan infus. Alur kerja dari sistem yang dirancang dapat dilihat pada flowchart gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Flowchart Program

Berikut penjelasan dari gambar 13 Berupa flowchart sistem pemantauan cairan infus berbasis IoT, LoRa, dan Cloud:

- Flowchart program MQTT
 1. Mulai.
 2. Mempersiapkan ESP32, NRF24L01, Sensor Loadcell, dan Sensor Optocoupler.
 3. Konfigurasi Interrupt sensor infrared atau memberi mekanisme menghentikan sementara jika tidak memiliki tetesan.

4. Menghubungkan ke Wifi.
 5. Membaca nilai sensor loadcell dengan mengambil rata-rata sebanyak 10 kali percobaan.
 6. Hitung tetes per detik pada sensor infrared.
 7. Membuat data_pot yang berisi data Weight dan DropsPerSecond.
 8. Mengirim data sebagai Publish di ESP32.
 9. Menerima data sebagai Subscribe di Server.
 10. Memproses data dan mengubah menjadi menjadi format JSON.
 11. Mengirim data JSON ke layanan realtime-database.
 12. Mengirim data dan menampilkan pada Website.
 13. Selesai.
- *Flowchart* program NRF24L01
 1. Mulai.
 2. Mempersiapkan ESP32, NRF24L01, Sensor Loadcell, dan Sensor Optocoupler.
 3. Konfigurasi Interrupt sensor infrared atau memberi mekanisme menghentikan sementara jika tidak memiliki tetesan.
 4. Membaca nilai sensor loadcell dengan mengambil rata-rata sebanyak 10 kali percobaan.
 5. Hitung tetes per detik pada sensor infrared.
 6. Membuat DataPacket yang berisi data Weight dan DropsPerSecond.
 7. Mengirim data sebagai Transmitter di ESP32.
 8. Menerima data sebagai Receiver di ESP32.
 9. Cek data apakah data sudah sesuai dengan yang diterima yaitu DataPacket.
 10. Proses data dengan memisahkan data Weight dan DropsPerSecond.
 11. Menampilkan pada LCD 20x4.
 12. Jika DropsPerSecond = 0 selama 30 detik, maka Relay 1 dan 2 Low.
 13. Jika Weight 10 == 50, maka Relay 1 dan 2 Low.
 14. Jika tidak, maka Relay 1 dan 2 HIGH.
 15. Selesai.

2.7. Metode Pengujian

Metode pengujian dilakukan dengan menerapkan sistem yang telah diimplementasikan melalui pengujian prototipe. Langkah-langkah dalam metode pengujian adalah sebagai berikut.

- Mengukur kualitas jaringan melalui pengujian *Quality of Service* (QoS). Pengujian ini mencakup pengukuran *delay*, *throughput*, dan *packet loss*.
- Mengukur jarak komunikasi LoRa antar perangkat monitoring cairan infus. Pengujian ini dilakukan dengan jarak pengiriman 0 meter, 5 meter, 10 meter, 15 meter, 20 meter, dan 25 meter. Selain itu, pengujian juga mencakup skenario dengan adanya penghalang dan tanpa penghalang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian QoS

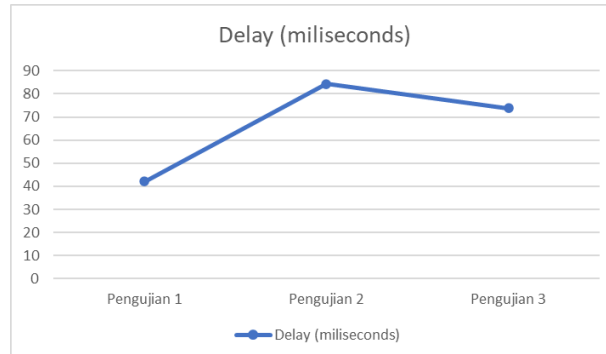
Tahap pengujian dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas dan kinerja sistem sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian ini mengadopsi teknik analisis paket menggunakan *Wireshark* serta evaluasi kualitas layanan (QoS) untuk mengukur performa sistem secara komprehensif. Fokus utama pengujian adalah pada metrik *delay*, *throughput*, dan *packet loss* saat pengiriman data dari prototipe ke website. Data pengujian diperoleh melalui tiga kali replikasi dengan durasi yang bervariasi, yaitu 5, 10, dan 15 menit. Hasil analisis QoS yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan sistem mencapai kualitas layanan yang baik, sesuai dengan standar TIPHON. Analisis lebih lanjut terhadap data ini akan memberikan gambaran yang lebih detail mengenai kinerja sistem dalam berbagai kondisi.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN QOS

Pengujian	QoS	Hasil	Indeks	Kategori
Pengujian 1 (5 Menit)	<i>Delay</i>	42 ms	4	Best
	<i>Throughput</i>	92,6 Kbps	3	High
	<i>Packet Loss</i>	0,03 %	4	Best
Pengujian 2 (10 Menit)	<i>Delay</i>	84,3 ms	4	Best
	<i>Throughput</i>	83,8 Kbps	3	High
	<i>Packet Loss</i>	0,02 %	4	Best
Pengujian 3 (15 Menit)	<i>Delay</i>	73,8 ms	4	Best
	<i>Throughput</i>	86,2 Kbps	3	High
	<i>Packet Loss</i>	0,01 %	4	Best

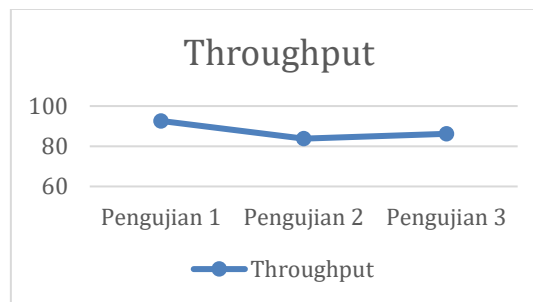
Berdasarkan tabel diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian selama 3 kali percobaan dengan durasi yang berbeda, nilai *delay* secara konsisten berada pada kategori "*Best*". Hal ini mengindikasikan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman data dari satu titik ke titik lain dalam jaringan sangat rendah, menunjukkan responsivitas sistem yang tinggi. Grafik pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



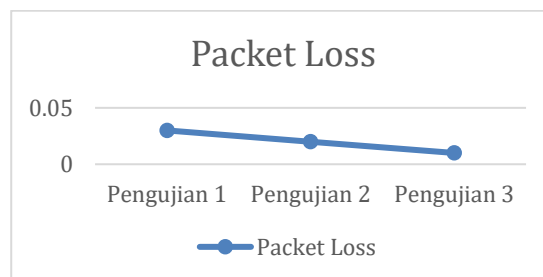
Gambar 14. Grafik *Delay*

2. Nilai *throughput* pada seluruh percobaan juga menunjukkan hasil yang sangat baik, berada pada kategori "*High*". Ini menandakan bahwa kapasitas pengiriman data dalam sistem sangat memadai, sehingga dapat menjamin kelancaran transfer data meskipun dalam durasi yang lebih lama. Grafik pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 15. Grafik *Throughput*

3. Hasil pengujian *packet loss* menunjukkan nilai yang sangat rendah, mendekati nol pada semua percobaan. Hal ini mengindikasikan bahwa hampir tidak ada paket data yang hilang selama proses transmisi, menandakan tingkat kehandalan sistem yang tinggi. Grafik pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 16. Grafik *Packet Loss*

3.2 Pengujian LoRa

Pada tahap pengujian ini, perangkat yang menggunakan NRF24L01 sebagai pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) akan diuji untuk memastikan bahwa fungsi dan tujuan penelitian tercapai sesuai dengan yang diharapkan. Pada bagian pemancar, perangkat mengirimkan data berat dan cairan infus dengan interval waktu per detik. Namun, interval ini tidak selalu per detik karena sensor *Load Cell* terkadang memerlukan waktu lebih lama untuk mengambil nilai rata-rata. Penggunaan antena monopole berfrekuensi 2,4 GHz

diterapkan untuk meningkatkan kualitas transmisi. Data yang dikirim kemudian diterima oleh penerima dan ditampilkan pada layar LCD 20x4. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN QOS

Jarak (m)	1 menit					
	Non-Penghalang			Penghalang		
	transmitter	receiver	Loss	transmitter	receiver	Loss
0	43	43	0	45	45	0
5	43	41	2	43	40	3
10	41	41	0	45	41	4
15	41	35	6	44	37	7
20	38	33	5	34	18	16
25	41	13	28	31	9	22

Berdasarkan tabel diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jarak 0 meter
Pada jarak 0 meter, baik pada kondisi tanpa penghalang maupun dengan penghalang, tidak ditemukan *packet loss* dengan persentase sebesar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak yang sangat dekat, keberadaan penghalang tidak mempengaruhi kualitas transmisi sinyal LoRa. Jarak 5 meter
2. Jarak 5 meter
Pada jarak 5 meter, terjadi sedikit perbedaan antara kedua kondisi. Tanpa penghalang, *packet loss* tercatat sebesar 4.65%, sementara dengan penghalang, *packet loss* meningkat menjadi 6.98%. Meskipun demikian, dampak penghalang masih tergolong kecil pada jarak ini.
3. Jarak 10 meter
Pada jarak 10 meter, kondisi tanpa penghalang menunjukkan tidak adanya *packet loss* dengan persentase 0%. Namun, dengan adanya penghalang, *packet loss* mencapai 8.89%. Ini menunjukkan bahwa penghalang mulai memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap transmisi sinyal pada jarak ini.
4. Jarak 15 meter
Pada jarak 15 meter, pengaruh penghalang semakin terlihat. Tanpa penghalang, *packet loss* tercatat sebesar 14.63%, sedangkan dengan penghalang, *packet loss* sedikit meningkat menjadi 15.91%. Ini menunjukkan bahwa jarak dan penghalang mulai memberikan dampak yang signifikan pada kualitas sinyal.
5. Jarak 20 meter
Pada jarak 20 meter, perbedaan antara kedua kondisi menjadi semakin jelas. Tanpa penghalang, *packet loss* sebesar 13.16%, namun dengan penghalang, *packet loss* melonjak drastis menjadi 47.06%. Pada jarak ini, penghalang memberikan pengaruh besar, menyebabkan hampir setengah dari paket yang dikirim tidak sampai ke penerima.
6. Jarak 25 meter
Pada jarak 25 meter, kondisi semakin memburuk. Tanpa penghalang, *packet loss* meningkat drastis menjadi 68.29%, dan dengan penghalang, *packet loss* mencapai 70.97%. Pengaruh penghalang pada jarak ini sangat signifikan, sehingga hampir seluruh paket yang dikirim tidak berhasil mencapai penerima.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat penulis simpulkan setelah melakukan penelitian mengenai digitalisasi smart infus berbasis internet of things, long range, dan cloud. Penerapan MQTT pada sistem menunjukkan bahwa *delay* bervariasi antara 42 ms, 84,3 ms, dan 73,8 ms, dengan *packet loss* yang sangat rendah 0%, serta *throughput* yang stabil 92,6 Kbps, 83,8 Kbps, dan 86,2 Kbps. Pada pengujian tanpa penghalang, persentase *packet loss* tetap rendah pada jarak 0 m hingga 10 m, dengan nilai 0% pada jarak 0 m dan 10 m. Namun, mulai dari jarak 15 m, *packet loss* meningkat hingga mencapai 68.29% pada jarak 25 m. Pada pengujian dengan penghalang, penurunan kualitas sinyal menjadi lebih drastis. Pada jarak 5 m, *packet loss* sebesar 6.98%, dan terus meningkat hingga mencapai 70.97% pada jarak 25 m. Penggunaan LoRa menunjukkan bahwa selain jarak, keberadaan penghalang fisik secara signifikan memperburuk kualitas transmisi sinyal LoRa, terutama pada jarak yang lebih jauh.

REFERENSI

- [1] Nasir, M., & Yanuar, F. (2021). *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe Penerapan IoT Pada Sistem Pengontrolan Lampu dan AC Berbasis Raspberry Pi*. 5(1), 1–7.
- [2] Gilang, R., Bhawiyuga, A., and Kartikasari, P. (2019). *Implementasi Sistem Akuisisi Data Sensor Pertanian Menggunakan Protokol Komunikasi LoRa*. Universitas Brawijaya: Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.
- [3] Mukrimaa, S. S., Nurdyansyah, Fahyuni, E. F., Yulia Citra, A., Schulz, N. D., Taniredja, T., Faridli, E. M., & Harmianto, S. (2020). “*Rancang Bangun Sistem Pemantauan Sisa Cairan Infus dan Pengendalian Aliran Infus Menggunakan Jaringan Nirkabel*”. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 6(August), 128.
- [4] Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., & Hermawan, D. (2019). *Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Web Pada Smart Room Dengan Menggunakan Konsep Internet of Things*. *Explore: Jurnal Sistem Informasi Dan Telematika*, 10(2).
- [5] Nasir, M., & Yanuar, F. (2021). *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe Penerapan IoT Pada Sistem Pengontrolan Lampu dan AC Berbasis Raspberry Pi*. 5(1), 1–7.
- [6] Primahayu, R. A., Utamingrum, F., & Syauqy, D. (2017). *Sistem Monitoring Cairan Infus Terpusat Menggunakan Pengolahan Citra Digital*. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(8), 649–657. <http://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/191>
- [7] Hasbi, S. A., & Tri, R. (2019). *Perancangan Pengisian Dan Penghitungan Galon Air Otomatis Menggunakan Mikrokotoler AT8535*. *Teknik Elektro*, 08(03), 579–585.
- [8] Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Palembang, U. M. (2022). *Prinsip Kerja Sensor Load Cell Pada Spout Filling Station Rotary Packer Pt . Semen Baturaja a JM Packer and Loading Jurnal Multidisipliner Kapalamada produksi maupun jaminan dalam menghasilkan produk berkualitas , bahkan padamasa ini pada proses pengepaka*. 1(4), 428–437.
- [9] Saputri, N. A. (2022). *Serta Dokumen Pemasangan Gateway Long Range (Lora) Pt Telkom Sto Kebayoran*.
- [10] Susilawati, (2022). *Protokol MQTT*. Medan: Universitas Medan Area. <https://susilawati.blog.uma.ac.id/2022/08/27/protokol-mqtt/ading-comprehension>,” *Educ. Res. Rev.*, vol. 25, pp. 23–38, 2018, doi: 10.1016/j.edurev.2018.09.003.