

Sistem *Monitoring* Cairan Infus Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT

Nur Afiyat¹, Raizly Helmi Navilla², Mohamad Hariyadi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Universitas Qomaruddin, Jln. Raya Bungah No. 01 Bungah Gresik Jawa Timur 61152 INDONESIA (tel: 031-99112729; email: ¹nurafiyat@uqgresik.ac.id, ²helminavil@gmail.com, ³mohamadhariyadi@uqgresik.ac.id)

[Diterima: 28 November 2022, Revisi: 6 Februari 2023]

Corresponding Author: Nur Afiyat

INTISARI — Salah satu peralatan medis yang sering digunakan di rumah sakit adalah infus. Namun, sampai saat ini sistem *monitoring* infus pada umumnya masih bersifat manual. Petugas medis harus memperhatikan kondisi alat infus secara kontinu, sehingga membutuhkan tenaga dan waktu yang lebih. Pada penelitian ini, dikembangkan sebuah sistem *monitoring* cairan infus Ringer Lactate 500 ml untuk pasien berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan protokol komunikasi *message queuing telemetry transport* (MQTT) dan sistem *cloud server* IoT menggunakan MQTT Dash. Cairan infus jenis Ringer Lactate 500 ml dipilih karena infus jenis tersebut paling banyak digunakan. Sensor yang digunakan adalah *load cell* HX711. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa perangkat keras dan perangkat lunak utama. Perangkat keras yang pertama ada mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler ini digunakan karena sudah dilengkapi modul ESP8266 yang merupakan modul WiFi, sehingga mendukung penerapan sistem IoT. Kemudian, sensor yang digunakan adalah *load cell* HX711 untuk mengetahui berat cairan infus. Untuk pengiriman data ke pengguna, digunakan protokol MQTT yang kemudian terhubung dengan aplikasi MQTT Dash sebagai media *monitoring* bagi petugas medis. Kinerja sistem diamati berdasarkan kinerja sensor *load cell* HX711. Ditinjau dari pembacaan berat cairan infus, hasil menunjukkan akurasi yang sangat baik, dibuktikan dengan nilai rata-rata persentase *error* 0,08% sampai dengan 0,64%. Sensor *load cell* HX711 bekerja dengan baik karena *error* pembacaan masih dalam batas toleransi *error* pembacaan sensor *load cell*, yaitu 5%. Pengujian *quality of service* (QoS) menunjukkan bahwa rata-rata *delay* pada semua sistem adalah 0,014 ms sampai dengan 0,023 ms. Nilai tersebut tergolong sangat bagus berdasarkan standar telecommunications and internet protocol harmonization over network (TIPHON). Kemudian, dari hasil pengujian *packet loss* pada semua sistem diperoleh rata-rata sebesar 0% sampai dengan 0,01%. Nilai tersebut tergolong sangat bagus berdasarkan standar TIPHON.

KATA KUNCI — *Monitoring* Cairan Infus, IoT, *Load Cell* HX711, MQTT.

I. PENDAHULUAN

Dunia kedokteran mengalami perkembangan yang signifikan dalam bidang keilmuan maupun teknologi yang digunakan. Demikian juga dengan alat-alat medis yang semakin canggih, yang mempermudah tenaga medis dalam proses diagnosis penyakit, perawatan pasien, ataupun penyembuhan. Salah satu peralatan medis yang sering digunakan di rumah sakit adalah infus. Infus, sebagai alat kesehatan, dalam kondisi tertentu digunakan untuk menggantikan cairan tubuh dan menyeimbangkan elektrolit serta dapat difungsikan juga sebagai media pengobatan melalui cairan yang disalurkan langsung ke pembuluh darah. Saat ini penggunaan infus pada umumnya masih bersifat manual, sehingga petugas medis harus memperhatikan kondisi alat infus secara kontinu, yang tentu saja membutuhkan lebih banyak tenaga dan waktu [1].

Teknologi digital dan informasi sangat memengaruhi beberapa aspek aktivitas manusia, sehingga meningkatkan kualitas hidup. Sistem kesehatan sedang mengalami revolusi teknologi yang nyata, yaitu secara radikal mengubah cara layanan medis disediakan berkat penggunaan luas *platform internet of things* (IoT) yang mendukung layanan *monitoring* canggih dan sistem inferensi cerdas [2]. Saat ini, manusia hidup di masa yang kompleks di bidang kesehatan, sosial, politik, dan energi, sehingga perlu menyadari dan menerapkan tren baru dalam sistem kesehatan sosial cerdas yang didukung oleh IoT [3].

Sistem *monitoring* infus saat ini masih memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah *monitoring* cairan infus yang masih bersifat manual. Kondisi ini cukup berbahaya jika terjadi kelalaian sehingga cairan infus habis tanpa sepengetahuan

petugas medis. Hal tersebut sangat membahayakan nyawa pasien karena asupan cairan pengganti cairan elektrolit tubuh dan asupan cairan obat ke pembuluh darah akan terhenti. Oleh karena itu, diperlukan sebuah teknologi untuk melakukan *monitoring* cairan infus secara *real-time* dan dapat dipantau dari jarak jauh [1], [4].

Kemajuan teknologi saat ini membuat banyak kegiatan medis dan alat-alat medis dapat dimonitor secara *real-time* dengan memanfaatkan internet, sehingga menjadi lebih efektif, efisien, dan akurat. IoT merupakan jaringan konvensional yang dikembangkan untuk menghubungkan berbagai perangkat yang saling terkoneksi. Konsep IoT semakin diperkuat dengan teknologi canggih seperti jaringan sensor nirkabel dan komunikasi mesin ke mesin [5]. Penelitian sebelumnya telah membuat sistem alarm penggantian cairan infus berbasis mikrokontroler secara nirkabel dengan menggunakan sensor fotodiode dan inframerah yang diletakkan pada botol cairan infus [1]. Data diolah oleh mikrokontroler, lalu petugas medis akan mendapat notifikasi kondisi infus melalui alarm di ruang jaga [1]. Pada penelitian yang lain dibuat alat *monitoring* sistem infus menggunakan ZigBee, yang merupakan salah satu protokol komunikasi pada jaringan sensor nirkabel, dengan sensor fotodiode dan sensor inframerah untuk memonitor volume beberapa cairan infus [6]. Data dari masing-masing *node* sensor dikirim ke komputer dokter [6]. Penelitian lainnya adalah prototipe sistem *monitoring* infus berbasis IoT, yang memonitor berat cairan infus melalui *website* ThingSpeak [4].

Beberapa penelitian tentang sistem *monitoring* infus yang telah dilakukan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Sistem alarm penggantian cairan infus berbasis mikrokontroler secara nirkabel dengan menggunakan notifikasi

dari *buzzer* yang diletakkan di ruang jaga telah berhasil melakukan *monitoring* ada tidaknya tetesan infus dan volume infus menggunakan sensor fotodiode dan inframerah [1]. Namun, sistem ini belum menerapkan teknologi IoT. Sistem ini menggunakan modul nRF2401L, sehingga jarak *monitoring* terbatas pada kisaran 4 m hingga 6 m. Di samping itu, notifikasi kondisi infus masih menggunakan *buzzer*, sehingga petugas ruang jaga tidak dapat mengamati volume infus yang tersisa. Kemudian, pada penelitian lain dikembangkan sistem *monitoring* infus medis menggunakan ZigBee dengan jaringan sensor nirkabel [6]. Sistem ini berhasil melakukan *monitoring* cairan infus secara jarak jauh dengan menggunakan jaringan sensor nirkabel, tetapi belum menerapkan IoT, sehingga cakupannya terbatas pada jaringan lokal rumah sakit. Di samping itu, penggunaan sensor fotodiode dan inframerah mudah terkena gangguan gelombang elektromagnetik, sehingga menyebabkan keterlambatan pengiriman data [7]. Penelitian selanjutnya tentang prototipe sistem *monitoring* infus telah menerapkan sistem IoT dalam memonitor berat infus secara *real-time* [4]. Namun, *monitoring* infus hanya diterapkan pada satu infus dan sistem tidak dilengkapi *liquid crystal display* (LCD).

Berdasarkan beberapa kekurangan tersebut, pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem *monitoring* cairan infus Ringer Lactate untuk pasien. Sistem ini berbasis IoT, menggunakan protokol komunikasi MQTT dan sistem *cloud server* IoT dengan MQTT Broker. Ekosistem IoT melibatkan perangkat pintar berkemampuan web yang menggunakan sistem terintegrasi, seperti prosesor, sensor, dan perangkat keras komunikasi untuk merakit, mengirim, dan bertindak berdasarkan data yang diperoleh. Perangkat-perangkat IoT berbagi data sensor yang dikumpulkan lalu mengirimkannya ke *cloud* untuk dianalisis atau dianalisis secara lokal. Perangkat ini berkomunikasi dengan perangkat lain yang terhubung dan bertindak sesuai informasi yang diperoleh dari masing-masing perangkat. Perangkat IoT melakukan sebagian besar pekerjaan tanpa campur tangan manusia, meskipun pengguna dapat berinteraksi dengan perangkat, misalnya untuk melakukan konfigurasi, memberikan instruksi, atau mengakses data [8]. Aplikasi IoT yang mendukung *cloud* tumbuh dan berkomunikasi di seluruh jaringan. *Cloud* memungkinkan dilakukannya layanan *hosting*, penyebaran, dan pengenalan aplikasi IoT berbasis *cloud*. Selain itu, komputasi awan (*cloud computing*) adalah *platform* internet yang tepat untuk menyimpan dan memproses data perangkat pintar, seperti *connected cars*, jaringan pintar, kota pintar, WiFi, sensor, dan jaringan aktuator [9]. Penelitian ini menjadi solusi dari kekurangan penelitian terdahulu tentang *monitoring* infus, yaitu dengan menggunakan protokol komunikasi MQTT yang cocok untuk sistem berbasis IoT dan objek infus yang dimonitor lebih dari satu. Volume infus terdiri atas beberapa macam, di antaranya 1.000 ml, 500 ml, dan 100 ml. Berdasarkan keterangan pengguna di Puskesmas Bungah, Gresik Jawa Timur, cairan infus Ringer Lactate 500 ml paling umum digunakan di rumah sakit. Berdasarkan alasan tersebut, pada penelitian ini digunakan infus Ringer Lactate 500 ml. Sensor yang digunakan adalah *load cell* HX711 karena sifatnya yang fleksibel dalam penggantian infus, sehingga mudah digunakan, yaitu petugas medis hanya cukup mengaitkan botol infus pada sensor *load cell*. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa perangkat keras dan perangkat lunak utama. Perangkat yang pertama adalah mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler jenis ini digunakan karena sudah dilengkapi modul ESP8266 yang

merupakan modul WiFi, sehingga mendukung penerapan sistem IoT. Kemudian, sensor yang digunakan adalah *load cell* HX711 untuk mengukur berat cairan infus. Untuk pengiriman data, digunakan protokol MQTT [10], dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan *load cell* HX711 sebagai *publisher* yang mengirim data kemudian meneruskan ke *broker* MQTT sebagai *cloud server*. *Cloud server* berfungsi menerima data dari *publisher* dan selanjutnya mendistribusikan data ke *subscriber* dengan topik tertentu. Penelitian ini menggunakan HiveMQ untuk *broker* MQTT, sedangkan pada sisi *subscriber* digunakan aplikasi MQTT Dash sebagai antarmuka pengguna sistem *monitoring*.

II. CAIRAN INFUS RINGER LACTATE 500 ML

Ringer Lactate adalah larutan steril yang terdiri atas air, natrium klorida (garam), natrium laktat, kalium klorida, dan kalsium klorida. Cairan infus ini sering digunakan sebagai pengganti larutan garam (air dan natrium klorida 0,9 %). Cairan infus Ringer Lactate kerap digunakan untuk menggantikan cairan yang hilang dan untuk membantu prosedur intravena tertentu. Ringer Lactate dinilai lebih bermanfaat daripada larutan garam. Ringer Lactate tidak bertahan lama di dalam tubuh, sehingga kecil kemungkinannya menyebabkan kelebihan cairan. Penambahan laktat mengurangi keasaman karena laktat diubah oleh tubuh menjadi bikarbonat yang merupakan elemen dasar yang membantu mengatur keseimbangan pH tubuh. Cairan infus Ringer Lactate sebaiknya tidak diberikan kepada orang yang memiliki pH tubuh lebih dari 7,5, memiliki penyakit hati yang menyebabkan pasien tidak dapat melakukan metabolisme laktat, dan kondisi asidosis laktat [11].

III. PENGUKURAN NILAI PERSENTASE ERROR

Nilai persentase *error* didapatkan dari perbandingan berat cairan infus hasil pembacaan sistem yang dibuat dengan berat cairan infus hasil pengukuran manual menggunakan timbangan digital. Nilai persentase *error* tidak boleh lebih dari 5% [12]. Persentase *error* dihitung menggunakan (1) [13].

$$\text{Nilai error (\%)} = \frac{\text{berat asli} - \text{berat dari sistem}}{\text{berat asli}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan *berat asli* adalah berat cairan infus saat diukur dengan timbangan digital, sedangkan *berat dari sistem* adalah berat cairan infus saat diukur dengan sistem yang telah dibuat.

IV. PENGUKURAN QUALITY OF SERVICE (QOS)

Quality of service (QoS) merupakan metode pengukuran kinerja jaringan dan merupakan usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat suatu layanan. QoS digunakan untuk mengukur sekumpulan atribut kinerja yang sudah ditentukan dan biasanya dihubungkan dengan suatu layanan. QoS didesain untuk membantu *end user* (*client*) menjadi lebih praktis dengan memastikan bahwa pengguna mendapatkan kinerja yang baik dari aplikasi-aplikasi berbasis jaringan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dua parameter dengan standar acuan yang ditetapkan TIPHON [14], [15].

A. DELAY

Delay merupakan waktu yang dibutuhkan oleh data untuk menempuh jarak dari sumber ke tujuan. Tabel I menunjukkan kategori dan indeks *delay* berdasarkan standar TIPHON.

B. PACKET LOSS

Packet loss merupakan jumlah paket data yang hilang dalam pengiriman. Tabel II menunjukkan kategori dan indeks *packet loss* berdasarkan standar TIPHON.

TABEL I
DELAY MENURUT STANDAR TIPHON

Kategori Delay	Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	< 150	4
Bagus	150 – 300	3
Sedang	300 – 450	2
Buruk	> 450	1

TABEL II
PACKET LOSS MENURUT STANDAR TIPHON

Kategori Packet Loss	Packet Loss (%)	Indeks
Sangat Bagus	0	4
Bagus	3	3
Sedang	15	2
Buruk	25	1

Persamaan (2) sampai (4) digunakan untuk menghitung parameter *delay* dan *packet loss* [16], [17].

$$\text{Delay}(\%) = \text{delay } 2 - \text{delay } 1 \quad (2)$$

$$\text{Rata - rata delay} = \frac{\sum \text{delay}}{\text{jumlah paket}} \quad (3)$$

$$\text{Packet loss} = \frac{\text{paket terkirim} - \text{paket diterima}}{\text{paket terkirim}} \times 100\% \quad (4)$$

dengan

delay 1 = *delay* pengiriman pertama

delay 2 = *delay* pengiriman kedua

$\sum \text{delay}$ = jumlah selisih *delay*

paket terkirim = jumlah paket yang terkirim

paket diterima = jumlah paket yang berhasil diterima.

V. RANCANGAN SISTEM

Rancangan sistem *monitoring* cairan infus pasien berbasis IoT menggunakan protokol MQTT terdiri atas tiga subsistem *publisher* yang masing-masing mengirim data *monitoring* ke *broker* MQTT. Selanjutnya, data didistribusikan ke *subscriber* atau *client* sebagai pengguna. Bagian-bagian dari sistem yang dirancang dijelaskan sebagai berikut.

1) CATU DAYA

Catu daya digunakan untuk memberikan daya pada NodeMCU, sensor berat *load cell* HX711, dan LCD 16 × 2.

2) SENSOR BERAT LOAD CELL HX711

Sensor ini digunakan untuk mengukur berat infus pasien. Sensor *load cell* HX711 dihubungkan dengan NodeMCU sebagai pengolah data hasil pembacaan sensor.

3) NODEMCU

Bagian ini digunakan sebagai mikrokontroler yang sudah memiliki modul WiFi sehingga dapat terhubung ke jaringan internet. NodeMCU menerima data dari sensor berat, memproses data, dan mengeksekusi perintah untuk menampilkan teks pada LCD 16 × 2. Selain itu, NodeMCU juga mengirimkan data ke aplikasi MQTT Dash.

4) LCD

LCD digunakan sebagai penampil data yang berupa tulisan maupun gambar. Pada penelitian ini, LCD akan menampilkan teks "Berat Infus ... Gram".

5) MODEM USB

Perangkat ini digunakan sebagai *access point* yang berfungsi menghubungkan antara NodeMCU dengan internet agar data dapat terkirim ke *broker*, sehingga dapat diakses oleh MQTT Dash yang ada di *smartphone*.

6) INTERNET

Internet menghubungkan *smartphone* dengan NodeMCU untuk mengakses sistem *monitoring* infus, baik pada aplikasi MQTT Dash di *smartphone* maupun *broker*.

7) APLIKASI MQTT DASH

Aplikasi ini digunakan untuk menerima dan mengirimkan data sistem melalui jaringan internet.

8) SMARTPHONE

Smartphone digunakan sebagai media *monitoring* berat infus. Data ditampilkan pada aplikasi MQTT Dash yang telah terinstal pada *smartphone* Android.

A. RANCANG BANGUN SISTEM MEKANIK

Pada bagian ini dirancang tiang penyangga infus. Perancangan dilakukan dengan memodifikasi tiang penyangga infus konvensional di bagian pengait botol infus. Tiang penyangga infus yang digunakan memiliki ketinggian antara 1,3 m sampai 3 m. Tiang penyangga infus juga dimodifikasi dengan menambahkan panel boks untuk tempat perangkat keras sistem. Layar LCD 16 × 2 diletakkan pada bagian depan panel boks dan sensor *load cell* HX711 diletakkan pada ujung atas tiang penyangga infus.

B. RANCANG BANGUN SISTEM ELEKTRIK

Sistem elektrik yang dikembangkan ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler yang sudah dilengkapi fitur komunikasi WiFi di 2,4 GHz untuk transmisi data ke sistem IoT. Kemudian, untuk perangkat masukan digunakan sensor *load cell* HX711 dan pada bagian keluaran terdapat LCD 16 × 2 untuk menampilkan hasil *monitoring* secara langsung pada perangkat. Pada Gambar 1 ditunjukkan pengkabelan sistem elektrik yang digunakan pada sistem.

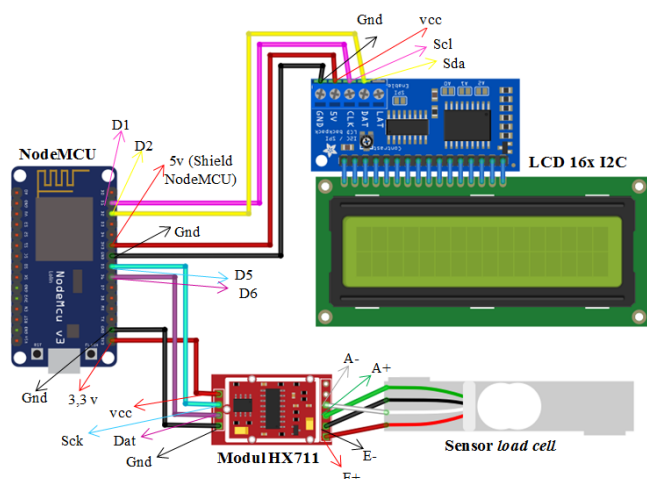
Secara detail, pengkabelan dan sambungan pin-pin yang digunakan antara *board* mikrokontroler dengan perangkat masukan dan keluaran pada sistem elektrik adalah sebagai berikut. Pin D1 *shield* NodeMCU dihubungkan ke pin SCL modul I2C LCD 16 × 2; pin D2 *shield* NodeMCU dihubungkan ke pin SDA modul I2C LCD 16 × 2; pin D5 *shield* NodeMCU dihubungkan ke pin SCK sensor *load cell* HX711; dan pin D6 *shield* NodeMCU dihubungkan ke pin DAT sensor *load cell* HX711. Sementara itu, *jack DC Power* 3,3 Volt DC *shield* NodeMCU dihubungkan ke pin VIN pada NodeMCU, Vcc sensor *load cell* HX711, dan Vcc Modul I2C; *jack DC Power* 3,3 Volt DC *shield* NodeMCU dihubungkan ke Vcc Modul I2C; dan *jack DC Gnd* dihubungkan ke pin G NodeMCU, Gnd sensor *load cell* HX711, serta Gnd Modul I2C. Pengkabelan sistem elektrik ditunjukkan pada Gambar 1.

C. TOPOLOGI YANG DIGUNAKAN

Topologi jaringan yang digunakan pada sistem yang dibangun ini adalah topologi infrastruktur. Topologi ini merupakan jaringan nirkabel. Komunikasi yang terjadi dapat melibatkan dua atau lebih sistem komputer menggunakan perantara berupa *access point* [18]. Modem USB WiFi sebagai *access point* bertindak seperti hub atau *switch* pada jaringan kabel (*wired networking*) dan menjadi pusat jaringan nirkabel. Pada topologi infrastruktur, perangkat nirkabel (*wireless adapter*) pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266 berkomunikasi melalui modem USB WiFi dan selanjutnya berkomunikasi dengan *broker* dari MQTT dan aplikasi MQTT Dash [19], [20].

D. PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak untuk sistem *monitoring* berbasis IoT ini dikembangkan menggunakan protokol komunikasi MQTT dan



Gambar 1. Pengkabelan sistem elektrik.



Gambar 2. Hasil perancangan sistem secara keseluruhan.

sistem *cloud server* IoT dengan *platform* aplikasi MQTT Dash. Beberapa aplikasi yang digunakan untuk pengembangan perangkat lunak pada sistem *monitoring* ini dijelaskan sebagai berikut. Untuk memprogram perangkat keras NodeMCU, digunakan Arduino IDE, sedangkan pengukuran parameter *delay* dan *packet loss* pada pengiriman data dilakukan menggunakan Wireshark. Kemudian, aplikasi MQTT Dash pada *smartphone* berbasis Android digunakan untuk melakukan konfigurasi basis data awan (*cloud*) dan sebagai antarmuka untuk pengguna. Tampilan antarmuka teks yang jelas akan memudahkan pengguna mengetahui berat cairan infus dengan desain yang minimalis dan mudah untuk dibaca. Tahapan kerja sistem sebagai dasar untuk pengembangan perangkat lunak adalah sebagai berikut.

- 1) PEMBAACAAN DATA OLEH SENSOR LOAD CELL HX711
 Tahap ini dimulai dengan pembacaan berat cairan infus oleh sensor *load cell* HX711, kemudian data diambil dan dikirimkan ke NodeMCU.
- 2) NODEMCU MEMPROSES DATA DARI SENSOR LOAD CELL HX711
 Pada tahap ini, NodeMCU memproses data yang dibaca dari sensor *load cell* HX711.
- 3) BERAT INFUS TERBACA
 Berat infus terbaca setelah NodeMCU mengolah data dari sensor *load cell* HX711.
- 4) PROSES MENGHUBUNGKAN NODEMCU DAN BROKER
 Di tahap ini, NodeMCU dan *broker* HiveMQ dihubungkan ke jaringan internet. Jika terhubung, maka berlanjut ke tahap selanjutnya, yaitu mengirimkan data ke *broker* HiveMQ dan menampilkan berat infus pada LCD. Jika tidak terhubung, maka konektivitas NodeMCU dan *broker* HiveMQ akan diulang kembali.
- 5) LCD 16 X 2 MENAMPILKAN BERAT INFUS
 Setelah terhubung ke internet, LCD akan menampilkan berat infus.
- 6) PENGIRIMAN DATA DARI PUBLISHER KE BROKER
 Pada tahap ini, NodeMCU sebagai *publisher* akan mengirimkan data ke *broker* dengan topik tertentu.
- 7) PENAMPUNGAN DATA OLEH BROKER SESUAI TOPIK DARI PUBLISHER
Broker sebagai penghubung antara *publisher* dan *subscriber* akan menampung data sesuai topik yang dimasukkan.

8) MQTT DASH SEBAGAI SUBSCRIBER

Pada tahap ini, MQTT Dash sebagai *subscriber* menampilkan berat infus pada *smartphone* dengan memasukkan topik yang sesuai dengan topik *publisher*.

VI. HASIL DAN ANALISIS

Hasil perancangan sistem meliputi hasil perancangan sistem mekanik, sistem elektrik, dan pengembangan perangkat lunak. Rancangan sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.

A. HASIL PERANCANGAN SISTEM MEKANIK

Hasil perancangan sistem mekanik berupa tiang penyangga infus yang memiliki tinggi hingga 3 m. Sensor *load cell* HX711 ditempatkan di bagian atas tiang penyangga sebagai tempat botol cairan infus digantungkan. Panel boks rangkaian sistem elektrik ditempatkan di bagian tengah tiang peyangga, dengan dilengkapi kabel yang terhubung ke catu daya dan ke sensor *load cell* HX711. Dalam uji coba, tiang penyangga infus diletakkan dengan jarak 2 m antar tiang penyangga dan semua tiang penyangga infus dietakkan dengan jarak kurang lebih 5 m terhadap *access point*.

B. HASIL PERANCANGAN SISTEM ELEKTRIK

Hasil perancangan sistem elektrik terdiri atas beberapa komponen yang diintegrasikan menjadi sebuah rangkaian elektrik. Rangkaian ini berfungsi untuk menjalankan sistem *monitoring* cairan infus. Komponen-komponen yang digunakan adalah sensor *load cell* untuk mengukur berat cairan infus Ringer Lactate; modul HX711 sebagai *serial peripheral interface* (SPI) dari sensor *load cell* HX711; LCD 16 × 2 I2C untuk menampilkan berat cairan infus pada panel boks; dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pengolah data yang diperoleh dari sensor serta sebagai *publisher* dalam protokol MQTT. Pada penelitian ini, dihasilkan tiga rancangan sistem elektrik.

C. HASIL PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak yang dikembangkan menggunakan Arduino IDE yang diinstal pada mikrokontroler NodeMCU. Lalu, dilakukan integrasi dan konfigurasi protokol MQTT pada aplikasi MQTT Dash, sehingga sistem *monitoring* cairan infus bisa bekerja sesuai perancangan. Pada Gambar 3 ditunjukkan antarmuka aplikasi MQTT Dash yang menampilkan data berat cairan infus dalam format teks.



Gambar 3. Tampilan sistem pada aplikasi MQTT Dash.

Broker yang digunakan adalah HiveMQ dan port dari broker tersebut adalah 1883. Port 1883 adalah port untuk protokol *transmission control protocol* (TCP). Dengan mengaktifkan fitur “*keep screen on when connected to this broker*”, layar tetap menyala saat terhubung dengan broker HiveMQ. Fitur “*allow metric management*” juga perlu diaktifkan agar pengguna dapat mengubah konfigurasi antarmuka pada sistem *monitoring* sesuai keinginan. Kegagalan catu daya pada peralatan IoT atau kegagalan koneksi internet yang terjadi dapat dideteksi pada tampilan antarmuka aplikasi MQTT Dash yang tidak berubah dalam waktu lebih dari 1 s. Hal ini terjadi karena sistem didesain untuk dapat mengetahui perubahan berat cairan infus setiap detik atau *real-time* dan antarmuka aplikasi MQTT Dash akan menampilkan data pada detik terakhir sebelum terjadinya kegagalan catu daya pada peralatan IoT atau kegagalan koneksi internet.

D. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan dengan beberapa parameter uji, yaitu berat cairan infus pada sistem, berat cairan infus yang diukur secara manual, *delay*, *packet loss*, dan persentase *error* pembacaan berat cairan infus. *Smartphone* yang digunakan dalam uji coba mempunyai *central processing unit* (CPU) *Octa-core* (4×2,3 GHz Cortex-A73 dan 4×1,7 GHz Cortex-A53); *random access memory* (RAM) sebesar 4 GB; dan memori interna sebesar 64 GB. Pengambilan sampel data dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk setiap parameter uji. Pengujian dilakukan di dalam gedung pada saat jam sibuk dengan menggunakan jaringan internet melalui modem WiFi. Modem ini menggunakan kartu Simpati dari operator seluler Telkomsel. Pengujian dengan perlakuan yang sama dilakukan pada tiga sistem *monitoring* yang dihasilkan. Masing-masing hasil pengujian pada ketiga sistem *monitoring* infus disajikan pada Tabel III, Tabel IV, dan Tabel V.

Dari hasil pengujian sistem *monitoring* infus pada Tabel III, Tabel IV, dan Tabel V, diketahui bahwa sistem telah berhasil memonitor berat cairan infus dengan baik serta diperoleh data-data parameter uji yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai persentase *error* pada sistem merupakan nilai *error* pembacaan berat cairan infus dari sistem dibandingkan dengan hasil pengukuran secara manual menggunakan timbangan digital. Pada beberapa sampel uji ada lonjakan nilai *error*, tetapi masih dalam batas toleransi *error*, yakni 5%. Nilai persentase *error* pada sistem *monitoring* cairan infus 1 adalah 0% sampai 0,95% untuk sepuluh kali percobaan, dengan rata-rata persentase *error* adalah 0,54%. Kemudian, nilai persentase *error* pada sistem *monitoring* cairan infus 2 adalah 0% sampai 2% untuk sepuluh kali percobaan, dengan rata-rata persentase *error* adalah 0,64%. Terakhir, nilai persentase *error* pada sistem *monitoring* cairan

TABEL III
PENGUJIAN SISTEM *MONITORING* INFUS 1

Uji Coba ke-	Pembacaan Berat Cairan Infus			Delay (ms)	Packet Loss (%)
	Sistem (g)	Pengukuran Manual (g)	Error (%)		
1	524	524	0,00	21,28	0
2	480	482	0,41	53,41	0
3	442	444	0,45	1,63	0
4	403	401	0,49	19,35	0
5	377	379	0,52	26,90	0
6	346	349	0,85	2,78	0
7	327	330	0,90	1,45	0
8	311	313	0,90	6,20	0
9	264	267	0,74	10,15	0
10	235	238	0,12	8,40	0

TABEL IV
PENGUJIAN SISTEM *MONITORING* INFUS 2

Uji Coba ke-	Pembacaan Berat Cairan Infus			Delay (ms)	Packet Loss (%)
	Sistem (g)	Pengukuran Manual (g)	Error (%)		
1	525	525	0,00	10,71	0,0
2	486	485	0,20	5,22	0,0
3	413	412	0,24	21,61	0,1
4	346	345	0,28	33,07	0,0
5	305	301	0,13	3,21	0,0
6	259	259	0,00	21,68	0,0
7	212	213	0,46	18,49	0,0
8	204	200	2,00	21,68	0,0
9	182	180	1,11	27,78	0,0
10	153	150	2,00	43,68	0,0

TABEL V
PENGUJIAN SISTEM *MONITORING* INFUS 3

Uji Coba ke-	Pembacaan Berat Cairan Infus			Delay (ms)	Packet Loss (%)
	Sistem (g)	Pengukuran Manual (g)	Error (%)		
1	525	525	0,00	10,55	0
2	470	470	0,00	37,92	0
3	411	411	0,00	6,25	0
4	365	366	0,27	51,68	0
5	337	336	0,29	8,36	0
6	302	301	0,33	36,91	0
7	242	242	0,00	58,18	0
8	223	223	0,00	9,75	0
9	194	194	0,00	6,38	0
10	147	147	0,00	7,18	0

infus 3 adalah 0% sampai 0,33% untuk sepuluh kali percobaan, dengan rata-rata persentase *error* adalah 0,08%. Maka, dapat dikatakan bahwa sensor *load cell* bekerja dengan baik karena *error* yang dihasilkan masih dalam batas toleransi pengukuran, yaitu 5%. *Error* yang terjadi pada pembacaan berat cairan infus berkaitan dengan akurasi sensor *load cell*.

Hasil pengukuran QoS untuk parameter *delay* pada sistem *monitoring* cairan infus 1 adalah 1,45 ms sampai 53,41 ms, dengan rata-rata *delay* sebesar 15,15 ms. Kemudian, *delay* pada sistem *monitoring* cairan infus 2 adalah sebesar 3,21 ms sampai 43,68 ms, dengan rata-rata *delay* sebesar 20,71 ms. Pada sistem *monitoring* cairan infus 3, diperoleh *delay* sebesar 6,25 ms sampai 58,18 ms, dengan rata-rata sebesar 23,31 ms. Semua nilai *delay* yang didapatkan termasuk kategori sangat bagus dalam standar TIPHON karena kurang dari 150 ms.

Selanjutnya, untuk parameter *packet loss*, pada sistem *monitoring* cairan infus 1 dan 3 diperoleh nilai 0% pada sepuluh kali percobaan, sehingga rata-rata persentase *packet loss* adalah 0%. Sementara itu, *packet loss* pada sistem *monitoring* cairan infus 2 adalah 0% sampai 0,1% pada sepuluh kali percobaan, dengan rata-rata persentase *packet loss* 0,01%. Nilai tersebut dikategorikan sangat bagus dalam standar TIPHON.

VII. KESIMPULAN

Sistem *monitoring* cairan infus Ringer Lactate 500 ml untuk pasien berbasis IoT menggunakan protokol MQTT ini mengintegrasikan beberapa perangkat keras, yaitu NodeMCU, sensor *load cell* HX711, dan LCD 16 × 2. Perangkat lunak yang digunakan untuk memonitor berat cairan infus adalah MQTT Dash. Tiga sistem yang telah dikembangkan dapat berjalan dengan baik. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa tingkat akurasi sensor *load cell* HX711 dalam pembacaan berat cairan infus sangat baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata persentase *error* pembacaan berat cairan infus yaitu sebesar 0,08% sampai 0,64%. Kinerja sensor *load cell* termasuk dalam kategori baik karena masih dalam batas toleransi *error* pembacaan sensor *load cell*, yaitu 5%. Hasil pengujian QoS menunjukkan bahwa *delay* rata-rata pada semua sistem sebesar 15,15 ms sampai 23,31 ms. Nilai tersebut tergolong sangat bagus berdasarkan standar TIPHON. Kemudian, rata-rata *packet loss* pada semua sistem adalah 0% sampai 0,01%. Nilai tersebut tergolong sangat bagus berdasarkan standar TIPHON.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel yang berjudul “Sistem *Monitoring* Cairan Infus Berbasis IoT Menggunakan Protokol MQTT” belum pernah dipublikasikan dan tidak sedang dalam proses untuk publikasi di jurnal lain. Dalam melakukan penelitian, penulis bertindak independen, baik menyangkut aspek keilmuan maupun etika. Hasil penelitian tersebut berdasarkan analisis secara objektif dengan mengembangkan kemampuan yang tertinggi. Selain itu, dalam mengkaji protokol penelitian, penulis selalu menggunakan standar etika tertinggi. Penulis menyatakan tidak akan menyalahgunakan untuk tujuan lain atau kepentingan pihak ketiga.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Nur Afiyat; metodologi, Nur Afiyat; perangkat lunak, Raizly Helmi Navilla; validasi, Raizly Helmi Navilla, Nur Afiyat, dan Mohamad Hariyadi; analisis formal, Nur Afiyat; investigasi, Nur Afiyat; sumber daya, Raizly Helmi Navilla; kurasi data, Raizly Helmi Navilla; penulisan—penyusunan draf asli, Raizly Helmi Navilla; penulisan—peninjauan dan penyuntingan, Nur Afiyat; visualisasi, Raizly Helmi Navilla; pengawasan, Nur Afiyat; administrasi proyek, Raizly Helmi Navilla.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Dasar Elektronika Program Studi Teknik Elektro Universitas Qomaruddin atas dukungan tempat dan fasilitas pada penelitian ini.

REFERENSI

[1] L. Nurfitriana, S. Sambasri, dan S.U. Prini, “Sistem Alarm Penggantian Cairan Infus Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Wireless,” *J. Teknol.*

Inf., Ilmu Komput., Vol. 7, No. 3, hal. 461–470, Jun. 2020, doi: 10.25126/jtiik.2020731837.

[2] R. De Fazio, M. De Vittorio, dan P. Visconti, “Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review,” *Electronics*, Vol. 10, No. 14, hal. 1–28, Jul 2021, doi: 10.3390/electronics10141660.

[3] Á.V. Espinosa, J.L. Ruiz, F.M. Mata, dan M.E. Estevez, “Application of IoT in Healthcare: Keys to Implementation of the Sustainable Development Goals,” *Sensors*, Vol. 21, No. 7, hal. 1–37, Mar 2021, doi: 10.3390/s21072330.

[4] T. Akbar dan I. Gunawan, “Prototype Sistem Monitoring Infus Berbasis IoT (Internet of Things),” *Edumatic: J. Pendidik. Inform.*, Vol. 4, No. 2, hal. 155–163, Des. 2020, doi: 10.29408/edumatic.v4i2.2686.

[5] M. Talebkah dkk., “IoT and Big Data Applications in Smart Cities: Recent Advances, Challenges, and Critical Issues,” *IEEE Access*, Vol. 9, hal. 55465–55484, Apr. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070905.

[6] H. Hamuda, “Monitoring Sistem Infus Medis Berdasarakan ZigBee Wireless Sensor Network (WSN),” *InComTech: J. Telekomun., Komput.*, Vol. 9, No. 2, hal. 77–86, Agu. 2019, doi: 10.22441/incomtech.v9i2.6470.

[7] A. Nadia, R. Rasyid, dan H. Harmadi, “Sistem Monitoring Ketinggian Cairan Infus Berbasis Sensor Serat Optik Evanescent,” *J. Fis. Unand*, Vol. 8, No. 4, hal. 321–328, Okt. 2019, doi: 10.25077/jfu.8.4.321-328.2019.

[8] A.A. Laghari dkk., “A Review and State of Art of Internet of Things (IoT),” *Arch. Comput. Methods Eng.*, Vol. 29, hal. 1395–1413, Mei 2022, doi: 10.1007/s11831-021-09622-6.

[9] T. Alam, “Cloud-Based IoT Applications and Their Roles in Smart Cities,” *Smart Cities*, Vol. 4, No. 3, hal. 1196–1219, Sep 2021, doi: 10.3390/smartcities4030064.

[10] O. Pribadi, “Sistem Kendali Jarak Jauh Air Conditioner (AC) Berbasis IoT,” *J. Times*, Vol. 9, No. 1, hal. 1–8, Jun. 2020.

[11] N.M.D. Febriansiwanti, “Efektivitas Infus Ringer Laktat dan Infus Ringer Laktat dengan Zink Berdasarakan Lama Rawat Inap pada Pengelolaan Diare Anak Usia 1–5 Tahun,” *Calypra: J. Ilm. Mhs. Univ. Surabaya*, Vol. 4, No. 2, hal. 1–13, Mar. 2016.

[12] M. Safitri, W.D. Iswara, dan T. Harjono, “Blood Bag Shaker Dilengkapi Pemilihan Kecepatan Motor,” *Medika Teknika: J. Tek. Elektromedik. Indones.*, Vol. 1, No. 2, hal. 44–51, Apr. 2020, doi: 10.18196/mt.010208.

[13] R.A. Ivory, N. Kholis, Nurhayati, dan F. Baskoro, “Review Penggunaan Sensor Suhu Terhadap Respon Pembacaan Skala pada Inkubator Bayi,” *J. Tek. Elekt.*, Vol. 10, No. 1, hal. 185–194, Jan. 2021, doi: 10.26740/jte.v10n1.p185-194.

[14] A. Fauzi, “Analisis Kualitas Transmisi Data pada E-Learning Streaming Multimedia dengan Quality of Service (QoS) di PT Graha ServiceIndonesia,” *Sem. Nas. Inov. Teknol. – SNITek 2019*, 2019, hal. 93–106.

[15] M. Iqbal dan D. Prasetyo, “Perbandingan Quality of Service (QoS) Jaringan 4G LTE Beberapa Provider Menggunakan Sistem Operasi Linux Ubuntu Server 18.10,” *JSR: Jar. Sist. Inf. Robot.*, Vol. 3, No. 2, hal. 239–249, 2019, doi: 10.58486/jsr.v3i2.54.

[16] M. Purwahid dan J. Triloka, “Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet untuk Mendukung Rencana Strategis Infrastruktur Jaringan Komputer di SMK N I Sukadana,” *J. Teknol. Komput., Sist. Inf.*, Vol. 2, No. 3, hal. 100–109, Sep. 2019, doi: 10.56327/jtksi.v2i3.778.

[17] I.P. Sari, “Evaluasi Kualitas Jaringan Internet Pemerintah Daerah Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Quality of Service,” *J. Sistim Inf. Teknol.*, Vol. 4, No. 1, hal. 25–29, Mar. 2022, doi: 10.37034/jsisfotek.v4i1.116.

[18] M.Y. Simargolang dan A. Widarma, “Quality of Service (QoS) for Network Performance Analysis Wireless Area Network (WLAN),” *CESS (J. Comput. Eng. Syst., Sci.)*, Vol. 7, No. 1, hal. 162–171, Jan 2022, doi: 10.24114/cess.v7i1.29758.

[19] T.M. Diansyah, I. Faisal, dan D. Siregar, “Penerapan Jaringan Wireless pada Desa Saentis Kabupaten Deli Serdang,” *Prioritas: J. Pengabd. Kpd. Masy.*, Vol. 2, No. 2, hal. 36–40, Sep. 2020, doi: 10.35447/prioritas.v2i02.223.

[20] M.R. Junaedi dan R.W. Arifin, “Media Pembelajaran Interaktif Pengenalan Topologi Jaringan Komputer pada Kelas X SMK Taman Harapan 1 Bekasi,” *J. Mhs. Bina Insani*, Vol. 4, No. 1, hal. 95–104, Agu. 2019.