

# Sistem Monitoring dan Kontrol Laju Infus Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Sensor Berat dan Optocoupler

Abdul Floranda<sup>1</sup>, Sulthon Mohd Fitrah<sup>2</sup>, dan Fathurrahman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Sumatera Utara

Jalan Bioteknologi No. 2, Kampus USU, Padang Bulan, Medan Baru, 20155

e-mail: abdulfloranda@usu.ac.id

**Abstrak**— Monitoring cairan infus di rumah sakit umumnya masih dilakukan secara manual sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan penggantian cairan, ketidaksesuaian laju tetes, dan meningkatnya risiko kesalahan manusia. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol laju infus berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu bekerja secara otomatis dan *real-time*. Sistem menggunakan sensor *load cell* dengan modul HX711 untuk mengukur volume cairan, sensor *optocoupler* untuk mendeteksi laju tetes, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan pengendali sistem. Metode kontrol tertutup (*closed-loop control*) diterapkan dengan menggunakan motor *stepper* untuk menyesuaikan bukaan selang infus sehingga laju tetes dapat dipertahankan pada *setpoint* 170 tetes per menit. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke aplikasi *smartphone* melalui koneksi WiFi untuk monitoring jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata *error* pengukuran volume sebesar 3,41% dan rata-rata *error* pengendalian laju tetes sebesar 0,94%. Sistem juga mampu memberikan peringatan dini melalui *buzzer* ketika volume cairan mendekati batas minimum. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring dan kontrol laju infus secara stabil, akurat, dan berpotensi meningkatkan efisiensi serta keamanan pelayanan kesehatan berbasis teknologi IoT.

**Kata kunci:** *Internet of Things, Monitoring Infus, ESP32, Load Cell, Optocoupler*

**Abstract**— Intravenous (IV) fluid monitoring in hospitals is commonly performed manually, which may cause delays in fluid replacement and inaccurate drip rate adjustments. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and controlling the IV drip rate in real time. The system uses a load cell sensor with an HX711 module to measure fluid volume, an optocoupler to detect the drip rate, and an ESP32 microcontroller as the main controller. A closed-loop control method is applied using a stepper motor to adjust the infusion tube opening and maintain the drip rate at a setpoint of 170 drops per minute. Measurement data are displayed on an LCD and transmitted to a smartphone application via WiFi for remote monitoring. Experimental results show that the system achieves an average volume measurement error of 3.41% and a drip rate control error of 0.94%. The system also provides an early warning through a buzzer when the fluid volume approaches the minimum threshold. These results indicate that the proposed system can perform IV monitoring and control accurately and reliably while supporting remote monitoring through IoT technology.

**Keywords:** *Internet of Things, Intravenous Monitoring, ESP32, Load Cell, Optocoupler*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah mendorong integrasi berbagai perangkat elektronik ke dalam sistem yang mampu melakukan monitoring dan pengendalian secara *real-time* melalui jaringan internet [1]. Dalam bidang kesehatan, penerapan IoT semakin berkembang untuk mendukung sistem pemantauan pasien, meningkatkan efisiensi pelayanan medis, serta mengurangi risiko kesalahan manusia dalam proses pengawasan [2]. Salah satu aplikasi yang berpotensi dikembangkan adalah sistem monitoring cairan infus yang digunakan secara luas dalam perawatan pasien di rumah sakit.

Pada praktiknya, monitoring cairan infus masih sering dilakukan secara manual dengan mengamati sisa volume cairan dan laju tetes secara langsung oleh tenaga medis [3]. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain risiko keterlambatan penggantian cairan infus, ketidaksesuaian pengaturan laju tetes, serta meningkatnya kemungkinan kesalahan akibat keterbatasan pengawasan secara terus-menerus [4]. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi efektivitas terapi cairan yang diberikan kepada pasien.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring infus berbasis sensor

untuk mengatasi keterbatasan metode manual. Penelitian yang dilakukan menggunakan sensor berat (*load cell*) mampu mendeteksi perubahan volume cairan secara kontinu [5]. Penelitian lain memanfaatkan sensor optik untuk menghitung jumlah tetesan infus secara otomatis [6]. Selain itu, beberapa sistem juga telah mengintegrasikan teknologi IoT untuk memungkinkan monitoring jarak jauh melalui perangkat *mobile* [7]. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi monitoring tanpa mengintegrasikan mekanisme kontrol otomatis untuk menjaga kestabilan laju tetes infus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol laju infus berbasis *Internet of Things* menggunakan sensor *load cell* dan optocoupler dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Sistem ini menerapkan metode kontrol tertutup (*closed-loop control*) menggunakan motor *stepper* untuk menyesuaikan bukaan selang infus sehingga laju tetes dapat dipertahankan sesuai dengan nilai *setpoint*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem monitoring volume cairan dan deteksi laju tetes dengan mekanisme kontrol otomatis serta fitur notifikasi berbasis IoT yang memungkinkan pemantauan kondisi infus secara *real-time* melalui perangkat *smartphone*. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu meningkatkan akurasi monitoring, menjaga kestabilan laju tetes infus, serta memberikan peringatan dini ketika cairan infus mendekati habis.

## II. STUDI PUSTAKA

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah memberikan kontribusi besar dalam pengembangan sistem monitoring berbasis jaringan yang mampu mengirimkan dan menerima data secara *real-time*. IoT merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik yang dilengkapi sensor, aktuator, dan konektivitas internet sehingga dapat saling berkomunikasi dan bertukar informasi secara otomatis [8]. Dalam bidang kesehatan, penerapan IoT semakin banyak digunakan untuk mendukung sistem pemantauan pasien, pengelolaan perangkat medis, serta sistem peringatan dini yang dapat membantu tenaga medis dalam mengambil keputusan secara lebih cepat dan akurat [9].

Dalam konteks terapi medis, cairan infus merupakan salah satu metode pemberian cairan atau obat yang umum digunakan pada pasien di rumah sakit. Proses monitoring cairan infus memiliki peranan penting untuk memastikan bahwa cairan diberikan sesuai dengan kebutuhan pasien. Namun, pada praktiknya pemantauan volume cairan dan laju tetes infus masih banyak dilakukan secara manual oleh tenaga medis melalui observasi langsung terhadap botol infus dan ruang tetesan. Metode manual ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti risiko keterlambatan penggantian cairan infus dan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pengaturan laju tetes. Oleh karena itu, beberapa penelitian telah mengembangkan sistem monitoring infus berbasis sensor untuk meningkatkan akurasi pemantauan dibandingkan metode konvensional [10].

Sistem monitoring yang memanfaatkan sensor berat mampu mengukur perubahan volume cairan infus secara

kontinu berdasarkan perubahan massa botol infus, sedangkan sistem berbasis sensor optik mampu mendeteksi dan menghitung jumlah tetesan infus secara otomatis [11].

Sensor *load cell* merupakan salah satu sensor yang banyak digunakan dalam sistem pengukuran berat karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan gaya atau tekanan. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip strain gauge, di mana perubahan resistansi terjadi ketika material sensor mengalami deformasi akibat beban yang diberikan [12]. Dalam aplikasinya, sinyal analog yang dihasilkan oleh *load cell* memiliki amplitudo yang sangat kecil sehingga memerlukan modul penguat dan konverter analog-ke-digital untuk dapat diproses oleh mikrokontroler. Modul HX711 merupakan salah satu komponen yang umum digunakan untuk tujuan tersebut karena memiliki resolusi tinggi serta dirancang khusus untuk aplikasi pengukuran berat berbasis *load cell*.

Sebelum digunakan pada sistem pengukuran, sensor *load cell* perlu dikalibrasi untuk memperoleh hubungan antara nilai keluaran digital HX711 dengan berat aktual. Kalibrasi dilakukan menggunakan beberapa beban referensi yang telah diketahui nilainya untuk menentukan faktor kalibrasi linear. Hubungan antara nilai ADC dan berat aktual dapat dinyatakan dalam persamaan linear sehingga hasil pembacaan sensor dapat dikonversi menjadi satuan berat secara akurat. Proses kalibrasi ini penting untuk meningkatkan akurasi pengukuran serta mengurangi *error* pembacaan sensor [13].

Selain pengukuran volume cairan, pemantauan laju tetes infus juga menjadi parameter penting dalam sistem monitoring infus. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi tetesan cairan adalah menggunakan sensor optocoupler. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip isolasi optik yang memanfaatkan pemancar cahaya inframerah dan fotodetektor sebagai penerima sinyal. Ketika tetesan cairan melewati celah sensor, cahaya inframerah akan terhalang sehingga menghasilkan perubahan sinyal pada fotodetektor yang kemudian diubah menjadi pulsa digital [14]. Pulsa tersebut dapat dihitung dalam interval waktu tertentu untuk menentukan laju tetes infus dalam satuan tetes per menit [15].

Untuk menjaga kestabilan laju tetes sesuai dengan nilai yang diinginkan, diperlukan suatu mekanisme pengendalian yang mampu melakukan penyesuaian secara otomatis. Sistem kontrol tertutup (*closed-loop control*) merupakan metode pengendalian yang menggunakan umpan balik dari sistem untuk membandingkan nilai aktual dengan nilai referensi atau *setpoint* yang telah ditentukan [16]. Apabila terjadi selisih antara nilai aktual dan *setpoint*, sistem akan menghasilkan aksi koreksi melalui aktuator untuk mengurangi kesalahan tersebut. Dalam penelitian ini, aktuator yang digunakan adalah motor *stepper* yang berfungsi untuk mengatur bukaan selang infus secara mekanis. Motor *stepper* dipilih karena memiliki kemampuan pengaturan posisi yang presisi dan dapat dikendalikan secara bertahap sehingga sesuai untuk aplikasi pengendalian laju infus.

Motor *stepper* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe 28BYJ-48 yang dilengkapi dengan gearbox internal. Motor ini dipilih karena memiliki kemampuan gerak bertahap yang sesuai untuk mengatur bukaan selang

infus secara perlahan dan presisi. Dari sisi kebutuhan torsi, mekanisme yang dikendalikan hanya berupa penekan selang infus dengan beban mekanik relatif ringan, sehingga torsi motor 28BYJ-48 yang diperkuat oleh gearbox dinilai cukup untuk membuka dan menutup aliran cairan infus secara stabil.

Selain itu, motor *stepper* 28BYJ-48 mudah dikendalikan secara open-loop menggunakan pulsa digital dari ESP32 melalui driver ULN2003. Dengan metode ini, posisi motor dapat diatur berdasarkan jumlah langkah tanpa memerlukan sensor posisi tambahan. Hal ini membuat sistem lebih sederhana, murah, dan sesuai untuk prototipe monitoring serta kontrol laju infus berbasis IoT.

Namun demikian, motor *stepper* memiliki beberapa keterbatasan, seperti kemungkinan kehilangan langkah apabila beban mekanik melebihi kemampuan torsi motor, munculnya resonansi pada kecepatan tertentu, serta konsumsi daya yang tetap dibutuhkan untuk mempertahankan posisi motor. Oleh karena itu, penggunaan motor ini lebih sesuai untuk mekanisme penekan selang dengan beban ringan hingga sedang [17].

### III. METODE

#### A. Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa komponen perangkat keras dan perangkat lunak untuk membangun sistem monitoring dan pengendalian laju infus berbasis *Internet of Things (IoT)*. Komponen utama yang digunakan adalah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data dan pengendali sistem. Sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat cairan infus sehingga dapat diketahui volume cairan yang tersisa, sedangkan modul HX711 digunakan sebagai penguat serta konverter sinyal analog dari *load cell* menjadi data digital.

Selain itu, digunakan sensor *optocoupler* yang berfungsi untuk mendeteksi tetesan cairan infus sehingga laju tetesan dapat dihitung. Sistem juga dilengkapi dengan motor *stepper* yang berfungsi sebagai aktuatur untuk mengatur bukaan selang infus sehingga laju aliran cairan dapat dikendalikan. Untuk menampilkan informasi secara langsung digunakan LCD, sementara *buzzer* digunakan sebagai indikator peringatan ketika volume cairan infus mendekati batas minimum. Sistem juga memanfaatkan jaringan WiFi dan aplikasi *Virtuino* sebagai media monitoring berbasis IoT melalui komputer atau *smartphone*.

#### B. Kalibrasi Sensor Load Cell

Kalibrasi sensor *load cell* dilakukan sebelum sistem digunakan untuk proses monitoring cairan infus. Proses kalibrasi dilakukan dengan memberikan beberapa beban referensi yang telah diketahui nilainya pada sensor *load cell*. Nilai keluaran digital dari modul HX711 dicatat untuk setiap perubahan beban, kemudian dibandingkan dengan berat aktual hasil pengukuran manual.

Berdasarkan data hasil pengujian, dilakukan perhitungan faktor kalibrasi linear untuk memperoleh hubungan antara nilai pembacaan sensor dan berat sebenarnya. Persamaan linear digunakan untuk mengonversi data keluaran HX711 menjadi nilai berat aktual yang diproses oleh ESP32.

Persamaan umum kalibrasi dinyatakan sebagai:

$$W = mX + b \quad (1)$$

dengan:

W = berat aktual (gram)

X = nilai keluaran sensor HX711

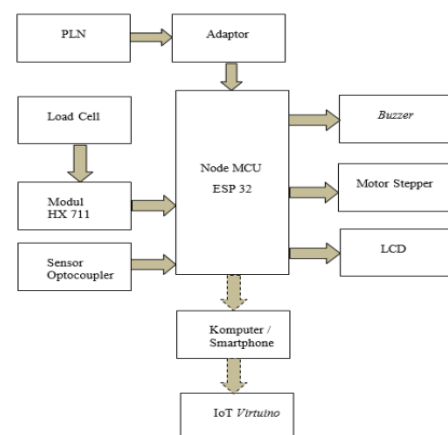
m = faktor kalibrasi

b = *offset* sensor

Faktor kalibrasi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam program ESP32 sehingga sistem mampu melakukan pengukuran berat cairan infus secara otomatis dan *real-time*.

#### C. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak sehingga membentuk sistem monitoring dan pengendalian laju infus. Hubungan antar komponen dalam sistem ditunjukkan pada diagram blok sistem.



Gambar 1 Diagram Block

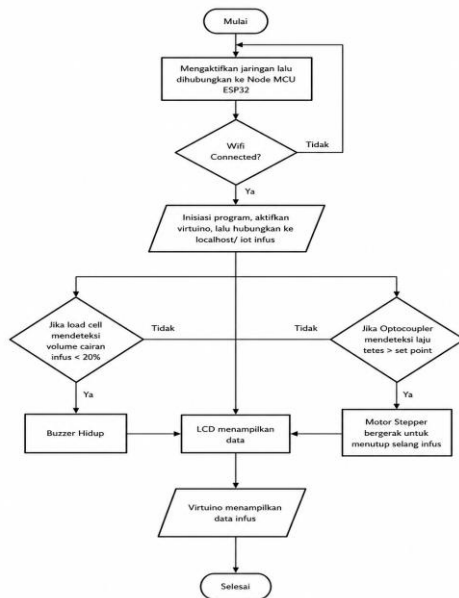
Diagram blok ini menggambarkan aliran data mulai dari sumber daya, sensor sebagai *input*, mikrokontroler sebagai unit pemroses, hingga perangkat *output* seperti LCD, *buzzer*, dan motor *stepper*.

Pada sistem ini, sensor *load cell* berfungsi untuk mendeteksi berat cairan infus yang kemudian diproses oleh modul HX711 sebelum dikirimkan ke mikrokontroler ESP32. Sensor *optocoupler* digunakan untuk mendeteksi jumlah tetesan cairan infus sehingga laju tetes dapat diketahui. Data dari kedua sensor tersebut diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi volume cairan serta laju tetesan infus.

Hasil pengolahan data ditampilkan pada LCD sebagai media monitoring lokal, sedangkan *buzzer* akan aktif ketika volume cairan infus berada di bawah batas tertentu. Selain itu, ESP32 juga mengendalikan motor *stepper* untuk menyesuaikan bukaan selang infus sehingga laju tetesan dapat dikontrol sesuai dengan nilai yang diinginkan. Data monitoring juga dikirimkan melalui jaringan WiFi ke aplikasi *Virtuino* sehingga kondisi infus dapat dipantau secara *real-time* melalui perangkat komputer atau *smartphone*.

#### D. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem digambarkan melalui *flowchart* sistem yang menunjukkan tahapan proses kerja perangkat dari awal hingga akhir.



Gambar 2 FlowChart

Proses dimulai dengan mengaktifkan sistem dan menghubungkan ESP32 dengan jaringan internet. Sistem akan melakukan pengecekan koneksi WiFi dan akan terus mencoba melakukan koneksi hingga jaringan berhasil terhubung.

Setelah koneksi berhasil, sistem melakukan inisialisasi program dan mengaktifkan aplikasi Virtuino sebagai media monitoring berbasis IoT. Selanjutnya sistem membaca data dari sensor load cell untuk mengetahui volume cairan infus yang tersisa. Apabila volume cairan infus terdeteksi kurang dari 20%, maka *buzzer* akan aktif sebagai peringatan bahwa cairan infus hampir habis.

Selanjutnya sistem membaca data dari sensor *optocoupler* untuk mendeteksi laju tetesan infus. Jika laju tetesan lebih besar dari nilai set point yang telah ditentukan, maka motor *stepper* akan bergerak untuk menyesuaikan bukaan selang infus sehingga laju tetesan dapat dikendalikan. Seluruh data hasil pembacaan sensor kemudian ditampilkan pada LCD dan juga dikirimkan ke aplikasi Virtuino untuk proses monitoring secara *real-time*.

#### E. Prosedur Pengujian Sistem

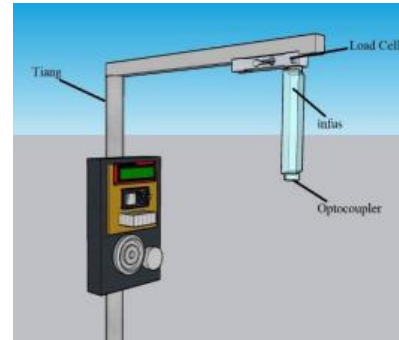
Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat monitoring dan pengendalian laju infus yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan sistem menggunakan botol infus dan mencatat data hasil pembacaan sensor *load cell* serta sensor *optocoupler*.

Pengujian sensor *load cell* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan volume cairan infus. Sementara itu, pengujian sensor *optocoupler* dilakukan untuk memastikan sensor mampu mendeteksi tetesan cairan infus dengan baik. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap motor *stepper* untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengatur laju tetesan infus sesuai dengan nilai set point yang telah ditentukan.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kinerja sistem monitoring dan pengendalian infus, termasuk respon sistem terhadap perubahan volume

cairan serta kestabilan laju tetesan infus selama proses pengujian berlangsung.

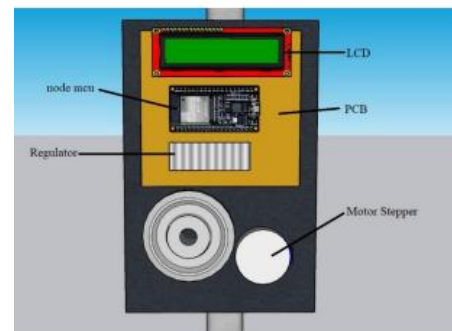
#### F. Desain Perangkat Sistem



Gambar 3 Desain 3D Sistem Tampak Samping

Desain perangkat sistem monitoring dan pengendalian laju infus ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem dirancang dalam bentuk perangkat yang dipasang pada tiang infus sehingga dapat digunakan secara langsung pada instalasi infus pasien. Pada bagian atas tiang terdapat sensor *load cell* yang berfungsi untuk menahan dan mengukur berat cairan infus. Data berat yang diperoleh digunakan untuk mengetahui volume cairan infus yang tersisa.

Pada bagian bawah botol infus dipasang sensor *optocoupler* yang berfungsi untuk mendeteksi tetesan cairan infus. Sensor ini akan membaca setiap tetesan yang melewati ruang tetesan sehingga laju tetesan infus dapat dihitung oleh sistem.



Gambar 4 Desain 3D Sistem Tampak Depan

Unit kontrol sistem ditempatkan pada sebuah kotak perangkat yang terpasang pada tiang infus. Di dalam kotak tersebut terdapat beberapa komponen utama seperti NodeMCU ESP32, regulator tegangan, LCD, PCB, dan motor *stepper* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. LCD digunakan untuk menampilkan informasi kondisi infus seperti volume cairan dan laju tetesan secara langsung. NodeMCU ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari sensor, sedangkan regulator digunakan untuk menstabilkan tegangan yang masuk ke rangkaian.

Motor *stepper* dipasang pada bagian depan perangkat dan berfungsi sebagai aktuator untuk mengatur bukaan selang infus sehingga laju tetesan dapat dikendalikan secara otomatis. Seluruh komponen dirancang dalam satu perangkat sehingga sistem dapat melakukan monitoring dan pengendalian infus secara terintegrasi.



#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pengujian Akurasi Sensor Loadcell

Tabel 1. Pengujian Loadcell dan Persentase Error

| Waktu (menit) | Volume Cairan Infus (ml) | Pengukuran Manual Berat | Persen Error (%) |
|---------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| 0             | 499                      | 500                     | 0,20             |
| 10            | 447                      | 451                     | 0,89             |
| 20            | 399                      | 402                     | 0,75             |
| 30            | 351                      | 349                     | 0,57             |
| 40            | 302                      | 301                     | 0,33             |
| 50            | 256                      | 251                     | 1,99             |
| 60            | 199                      | 201                     | 0,99             |
| 70            | 149                      | 152                     | 1,97             |
| 80            | 102                      | 101                     | 0,99             |
| 90            | 49                       | 51                      | 3,92             |
| 100           | 3                        | 4                       | 25,00            |
| Rata-rata     |                          |                         | 3,41             |

Berdasarkan data pada Tabel 1, pengukuran dilakukan setiap 10 menit dengan mengamati perubahan volume cairan infus serta hasil pembacaan berat oleh sensor *load cell*. Selanjutnya nilai pengukuran sensor dibandingkan dengan nilai pengukuran manual untuk menghitung persentase *error* pada setiap waktu pengukuran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran memiliki nilai *error* yang relatif kecil. Pada menit awal hingga menit ke-80, nilai *error* berada pada kisaran di bawah 2%, yang menunjukkan bahwa sensor *load cell* mampu mengukur berat cairan infus dengan cukup baik. Nilai *error* terkecil terjadi pada menit ke-0 sebesar 0,20%, sedangkan pada menit ke-10 hingga menit ke-80 nilai *error* berkisar antara 0,33% hingga 1,99%.

Namun, pada menit ke-90 terjadi peningkatan nilai *error* hingga 3,92%. Peningkatan *error* yang lebih signifikan terjadi pada menit ke-100 dengan nilai *error* sebesar 25,00%. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh volume cairan infus yang sudah sangat sedikit sehingga perubahan berat menjadi sangat kecil dan mempengaruhi tingkat sensitivitas sensor *load cell*.

Peningkatan *error* pada volume rendah diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, sensor *load cell* memiliki karakteristik linear yang baik pada rentang pengukuran menengah hingga tinggi, namun pada beban yang sangat kecil sensitivitas sensor cenderung menurun sehingga mempengaruhi akurasi pembacaan. Kondisi ini mengindikasikan adanya pengaruh non-linearitas sensor pada rentang beban rendah.

Selain itu, ketika volume cairan mendekati habis, perubahan massa yang terukur menjadi sangat kecil sehingga sinyal keluaran strain gauge juga semakin kecil. Akibatnya, pembacaan menjadi lebih rentan terhadap noise, drift, dan fluktuasi dari modul ADC HX711. Meskipun HX711 memiliki resolusi 24-bit, pada implementasi nyata masih terdapat keterbatasan efektivitas resolusi akibat gangguan listrik dan ketidakstabilan mekanik sistem.

Oleh karena itu, peningkatan *error* pada menit ke-90 dan ke-100 kemungkinan merupakan kombinasi antara non-linearitas sensor *load cell* pada beban rendah dan keterbatasan pembacaan ADC saat mendeteksi perubahan sinyal yang sangat kecil.

Secara keseluruhan, rata-rata persentase *error* dari seluruh pengukuran adalah sebesar 3,41%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor *load cell* yang digunakan pada sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan berat cairan infus selama proses pemantauan berlangsung.

##### B. Pengujian Akurasi Laju Infus

Tabel 2. Pengujian Laju Infus dan Persentase Error

| Waktu (menit) | Laju Infus (tetes/menit) | Setpoint Laju (tetes/menit) | Persen Error (%) |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| 10            | 169                      | 170                         | 0,59             |
| 20            | 165                      | 170                         | 2,94             |
| 30            | 161                      | 170                         | 5,29             |
| 40            | 170                      | 170                         | 0,00             |
| 50            | 172                      | 170                         | 1,18             |
| 60            | 170                      | 170                         | 0,00             |
| 70            | 169                      | 170                         | 0,59             |
| 80            | 167                      | 170                         | 1,76             |
| 90            | 171                      | 170                         | 0,59             |
| 100           | 170                      | 170                         | 0,00             |
| Rata-rata     |                          |                             | 0,94             |

Berdasarkan Tabel 2, dilakukan pengujian laju infus dengan membandingkan nilai aktual yang terukur oleh sensor *optocoupler* terhadap *setpoint* 170 tetes per menit pada interval 10 menit hingga menit ke-100. Secara umum, sistem mampu mempertahankan laju tetes mendekati nilai referensi. *Error* terkecil sebesar 0,00% terjadi pada menit ke-40, 60, dan 100, sedangkan *error* terbesar sebesar 5,29% terjadi pada menit ke-30 saat laju terukur 161 tetes per menit, yang menunjukkan adanya fluktuasi awal sebelum sistem stabil.

Pada pengukuran berikutnya, laju infus kembali mendekati *setpoint* dengan *error* relatif kecil, sebagian besar di bawah 2%. Nilai rata-rata *error* sebesar 0,94% menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang baik. Secara keseluruhan, mekanisme kontrol tertutup yang diterapkan melalui sensor *optocoupler* dan motor *stepper* terbukti efektif dalam menjaga kestabilan laju tetes dalam batas toleransi yang dapat diterima.

##### C. Pengujian Respon Buzzer Terhadap Berat Cairan Infus

Tabel 3. Pengujian Respon Buzzer Terhadap Berat Cairan Infus

| Waktu (menit) | Volume Cairan Infus (ml) | Respon Buzzer |
|---------------|--------------------------|---------------|
| 0             | 499                      | Diam          |
| 10            | 447                      | Diam          |
| 20            | 399                      | Diam          |
| 30            | 351                      | Diam          |
| 40            | 302                      | Diam          |
| 50            | 256                      | Diam          |
| 60            | 199                      | Diam          |
| 70            | 149                      | Diam          |
| 80            | 102                      | Diam          |
| 90            | 49                       | Bunyi pendek  |
| 100           | 3                        | Bunyi panjang |

Berdasarkan Tabel 3, dilakukan pengujian respon *buzzer* sebagai sistem peringatan dini saat volume cairan infus mendekati batas minimum. Pengamatan dilakukan setiap 10 menit dengan mencatat sisa volume dan kondisi *buzzer*. Hasil menunjukkan bahwa pada volume 499 ml hingga 102 ml (menit ke-0 sampai ke-80), *buzzer* tetap

dalam kondisi diam karena volume masih dalam batas aman.

Pada menit ke-90, saat volume tersisa 49 ml, *buzzer* berbunyi pendek sebagai peringatan awal bahwa cairan hampir habis. Selanjutnya, pada menit ke-100 dengan sisa volume 3 ml, *buzzer* berbunyi panjang sebagai indikasi kondisi kritis. Hasil ini membuktikan bahwa sistem peringatan bekerja sesuai perancangan dengan dua tingkat notifikasi, sehingga meningkatkan keamanan melalui pemberian peringatan bertahap sebelum cairan benar-benar habis.

#### D. Pengujian Respon Motor *Stepper* Terhadap Laju Tetes

Tabel 4. Pengujian Respon Motor *Stepper* Terhadap Laju Tetes

| Waktu (menit) | Laju Infus (tetes/menit) | Setpoint (tetes/menit) | Respon Motor <i>Stepper</i> |
|---------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 10            | 169                      | 170                    | Membuka                     |
| 20            | 165                      | 170                    | Membuka                     |
| 30            | 161                      | 170                    | Membuka                     |
| 40            | 170                      | 170                    | Membuka                     |
| 50            | 172                      | 170                    | Menutup                     |
| 60            | 170                      | 170                    | Membuka                     |
| 70            | 169                      | 170                    | Membuka                     |
| 80            | 167                      | 170                    | Membuka                     |
| 90            | 171                      | 170                    | Menutup                     |
| 100           | 170                      | 170                    | Membuka                     |

Berdasarkan Tabel 4, pengujian dilakukan untuk mengetahui respons motor *stepper* terhadap perubahan laju tetes dibandingkan dengan *setpoint* 170 tetes per menit. Hasil menunjukkan bahwa sistem bekerja menggunakan prinsip kontrol tertutup (*closed-loop control*). Ketika laju infus berada di bawah *setpoint*, motor *stepper* merespons dengan membuka untuk meningkatkan aliran hingga mendekati nilai referensi. Sebaliknya, saat laju melebihi *setpoint*, motor menutup untuk mengurangi aliran. Pada kondisi laju sama dengan 170 tetes per menit, motor mempertahankan posisi sebagai bagian dari proses stabilisasi. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa mekanisme pengendalian motor *stepper* berjalan sesuai perancangan dan mampu melakukan koreksi otomatis terhadap penyimpangan, sehingga kestabilan laju infus dapat dipertahankan secara efektif.

#### E. Pengujian Keseluruhan dengan *Setpoint* 170

Tabel 5. Hasil Pengujian Keseluruhan dengan *Setpoint* 170

| Waktu (menit) | Volume Cairan Infus (ml) | Laju Infus (tetes/menit) | Pengukuran Manual Berat | Setpoint (tetes/menit) | Respon <i>Buzzer</i> | Motor <i>Stepper</i> |
|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 0             | 499                      | –                        | 500                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |
| 10            | 447                      | 169                      | 451                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |
| 20            | 399                      | 165                      | 402                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |
| 30            | 351                      | 171                      | 349                     | 170                    | Diam                 | Menutup              |
| 40            | 302                      | 170                      | 301                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |
| 50            | 256                      | 172                      | 251                     | 170                    | Diam                 | Menutup              |
| 60            | 199                      | 170                      | 201                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |
| 70            | 149                      | 169                      | 152                     | 170                    | Diam                 | Membuka              |

|     |     |     |     |     |               |         |
|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|---------|
| 80  | 102 | 167 | 101 | 170 | Diam          | Membuka |
| 90  | 49  | 171 | 51  | 170 | Bunyi Pendek  | Menutup |
| 100 | 3   | 170 | 4   | 170 | Bunyi Panjang | Membuka |

Berdasarkan Tabel 5, menunjukkan hasil pengujian keseluruhan sistem dengan *setpoint* laju infus sebesar 170 tetes per menit. Pengujian ini mengintegrasikan seluruh komponen sistem, yaitu sensor *load cell*, sensor *optocoupler*, *buzzer*, dan motor *stepper* dalam satu pengujian terpadu. Hasil menunjukkan bahwa laju infus aktual sebagian besar berada sangat dekat dengan nilai *setpoint*. Ketika laju infus berada di bawah 170 tetes/menit, motor *stepper* merespon dengan membuka untuk meningkatkan aliran cairan. Sebaliknya, ketika laju melebihi *setpoint* (misalnya pada menit ke-30, 50, dan 90), motor *stepper* merespon dengan menutup guna menurunkan laju tetes. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol tertutup bekerja sesuai dengan logika yang dirancang. Dari sisi monitoring volume, sensor *load cell* menunjukkan hasil yang mendekati pengukuran manual.

Ketika volume cairan mendekati batas minimum (49 ml pada menit ke-90), *buzzer* memberikan peringatan berupa bunyi pendek sebagai notifikasi awal. Pada menit ke-100, ketika volume tersisa 3 ml, *buzzer* menghasilkan bunyi panjang sebagai indikasi kondisi kritis. Secara keseluruhan, tabel ini membuktikan bahwa sistem mampu bekerja secara terintegrasi, di mana fungsi monitoring, pengendalian laju, dan sistem peringatan berjalan secara simultan dan *real-time* sesuai dengan perancangan. Sistem menunjukkan performa yang stabil dan responsif terhadap perubahan kondisi aliran maupun volume cairan infus.



Gambar 5 Tampilan Aplikasi IoT Sistem Monitoring Infus dan *Setpoint*

Pada Gambar 5, menunjukkan tampilan aplikasi IoT yang digunakan untuk monitoring dan pengaturan sistem infus secara *real-time* melalui *smartphone*. Aplikasi ini dirancang menggunakan platform *Virtuino* yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 melalui jaringan WiFi. Tampilan antarmuka menampilkan beberapa parameter utama, yaitu volume cairan infus, laju infus (tetes per menit), serta indikator pengaturan *setpoint*. Pada bagian atas aplikasi ditampilkan informasi volume cairan infus yang diperoleh dari sensor *load cell*. Data ini diperbarui

secara berkala sesuai dengan hasil pembacaan sensor yang dikirimkan oleh ESP32. Di bagian tengah atau bawah terdapat indikator laju infus dalam satuan tetes per menit (tpm), yang divisualisasikan dalam bentuk tampilan meter atau gauge sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kestabilan aliran cairan.

Selain sebagai media monitoring, aplikasi juga berfungsi sebagai media kontrol. Pengguna dapat mengatur nilai *setpoint* laju infus melalui tombol atau slider yang tersedia pada tampilan aplikasi. Nilai *setpoint* yang diubah akan dikirimkan ke ESP32 dan digunakan sebagai referensi dalam sistem kontrol tertutup untuk mengatur pergerakan motor *stepper*. Dengan demikian, aplikasi tidak hanya berfungsi sebagai penampil data, tetapi juga sebagai antarmuka pengendali sistem.

Secara keseluruhan, integrasi aplikasi IoT ini meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi sistem karena tenaga medis dapat memantau kondisi infus tanpa harus berada langsung di dekat pasien. Sistem tetap menjalankan kontrol lokal pada mikrokontroler sehingga apabila terjadi gangguan jaringan, proses pengaturan laju infus tetap berjalan secara normal.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring dan kontrol laju infus berbasis *Internet of Things (IoT)*, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu melakukan pengukuran volume cairan infus menggunakan sensor *load cell* serta mendeteksi laju tetes menggunakan sensor *optocoupler* secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengukuran volume cairan memiliki rata-rata persentase *error* sebesar 3,41%, sedangkan pengukuran dan pengendalian laju infus terhadap *setpoint* 170 tetes per menit menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,94%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan stabilitas yang baik dalam mempertahankan laju tetes mendekati nilai referensi.

Mekanisme kontrol tertutup yang diterapkan melalui motor *stepper* terbukti mampu merespon perubahan laju infus secara otomatis, dengan membuka atau menutup selang infus sesuai dengan kondisi aktual terhadap *setpoint*. Selain itu, sistem peringatan menggunakan *buzzer* bekerja sesuai dengan perancangan, yaitu memberikan notifikasi bunyi pendek ketika volume mendekati batas minimum dan bunyi panjang saat kondisi kritis. Integrasi teknologi IoT melalui aplikasi berbasis *smartphone*

memungkinkan proses monitoring dan pengaturan *setpoint* dilakukan secara jarak jauh dan *real-time*. Hal ini meningkatkan efisiensi dan meminimalkan risiko keterlambatan dalam penanganan infus. Secara keseluruhan, sistem monitoring dan kontrol laju infus berbasis IoT yang dikembangkan dinyatakan layak sebagai prototipe pendukung teknologi *smart healthcare*, dengan performa yang stabil, responsif, dan terintegrasi.

## REFERENSI

- [1] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. Chichester, U.K.: Wiley, 2005.
- [2] L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in industries: A survey," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, Nov. 2014.
- [3] A. Whitmore, A. Agarwal, and L. Da Xu, "The Internet of Things—A survey of topics and trends," *Information Systems Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 261–274, Apr. 2015.
- [4] O. Vermesan and P. Friess, *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. Aalborg, Denmark: River Publishers, 2013.
- [5] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, 4th ed. New York, NY, USA: Springer, 2010.
- [6] A. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 3rd ed. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015.
- [7] Espressif Systems, *ESP32 Technical Reference Manual*. Shanghai, China: Espressif Systems, 2020.
- [8] Avia Semiconductor, *HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales Datasheet*. China: Avia Semiconductor, 2018.
- [9] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," *RFID Journal*, vol. 22, no. 7, pp. 97–114, 2009.
- [10] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The Internet of Things: A survey," *Information Systems Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015.
- [11] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [12] D. Zhang, H. Ning, and L. T. Yang, "IoT-based healthcare systems: A survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 678–692, 2018.
- [13] P. Gope and T. Hwang, "BSN-care: A secure IoT-based modern healthcare system using body sensor network," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 5, pp. 1368–1376, Mar. 2016.
- [14] A. Rayes and S. Salam, *Internet of Things from Hype to Reality*. Cham, Switzerland: Springer, 2017.
- [15] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A literature review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 164–173, 2015.
- [16] M. Chiang and T. Zhang, "Fog and IoT: An overview of research opportunities," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 854–864, Dec. 2016.
- [17] A. Al-Fuqaha et al., "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.