

MONITORING DAN KONTROL INFUS PASIEN BERBASIS VISUAL STUDIO DENGAN LOGIKA FUZZY

Nanta Fakhri Prebianto¹, Rafael Rivaldi², Erwin Anggiat³

1Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknik Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

Keywords:

Infus otomatis, sensor optocoupler, Visual Studio, sistem monitoring, kontrol cairan.

Correspondent Email:

rafaelvaldi65@gmail.com

Abstrak. Infus merupakan prosedur medis yang penting dalam memberikan cairan dan obat kepada pasien secara intravena. Pemantauan infus yang masih dilakukan secara manual berisiko menyebabkan keterlambatan penggantian cairan dan komplikasi medis seperti penggumpalan darah atau emboli udara. Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem monitoring dan kontrol infus otomatis berbasis Visual Studio yang memanfaatkan sensor optocoupler untuk mendeteksi laju tetesan cairan secara real-time dalam satuan tetesan per menit (TPM), serta logika fuzzy untuk mengatur laju infus secara otomatis. Data pembacaan sensor dikirim melalui mikrokontroler ke aplikasi Visual Studio berperan sebagai antarmuka pengaturan parameter target, sedangkan proses fuzzy sepenuhnya dieksekusi di ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan menampilkan laju infus dengan rata-rata error pembacaan sebesar $\pm 4,5\%$, serta mampu mempertahankan kestabilan laju infus dengan steady-state error sebesar ± 1 TPM dan waktu settling sekitar 12 detik. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi tenaga medis, mengurangi risiko komplikasi pasien, serta menjadi solusi inovatif dalam pemantauan dan pengendalian infus pasien secara otomatis.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Infusion is an important medical procedure in administering fluids and medications to patients intravenously. Manual infusion monitoring risks causing delays in fluid replacement and medical complications such as blood clots or air embolisms. This study proposes a Visual Studio-based automatic infusion monitoring and control system that utilizes an optocoupler sensor to detect the fluid drip rate in real-time in drops per minute (TPM), as well as fuzzy logic to automatically regulate the infusion rate. Sensor reading data is sent via a microcontroller to a Visual Studio application that acts as a target parameter setting interface, while the fuzzy process is fully executed on the ESP32. Test results show that the system is able to detect and display the infusion rate with an average reading error of $\pm 4.5\%$, and is able to maintain a stable infusion rate with a steady-state error of ± 1 TPM and a settling time of approximately 12 seconds. This system is expected to improve the efficiency of medical personnel, reduce the risk of patient complications, and become an innovative solution in automatically monitoring and controlling patient infusions.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infus merupakan salah satu metode penting dalam penanganan medis yang digunakan untuk menyalurkan cairan, nutrisi, maupun obat-obatan secara langsung ke pembuluh darah pasien. Menurut [1][2], proses monitoring infus yang masih dilakukan secara manual sering kali menimbulkan keterlambatan dalam

penggantian cairan, yang dapat menyebabkan komplikasi serius seperti pembekuan darah dalam selang atau masuknya udara ke tubuh pasien. Berdasarkan studi oleh [3], upaya awal untuk mengatasi masalah ini telah dilakukan dengan merancang sistem indikator otomatis berbasis Wireless Sensor Network (WSN). Selain itu, [4] mengembangkan metode deteksi cairan infus menggunakan photodiode dan

Raspberry Pi, yang memberikan notifikasi otomatis ketika cairan mendekati habis.

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada sistem peringatan dan belum mencakup kontrol otomatis terhadap laju infus. Menurut [5], pendekatan berbasis sensor warna TCS3200 telah dimanfaatkan untuk mendeteksi darah pada selang sebagai kondisi darurat. Sementara itu, sistem monitoring nirkabel dengan modul NRF24L01 dan antarmuka LabVIEW juga telah dikembangkan [6], serta sistem berbasis logika fuzzy dengan sensor TCRT5000 untuk pengambilan keputusan dalam kondisi ketidakpastian [7]. Berdasarkan laporan [8][9], penggunaan sensor load cell dan photodiode dapat memberikan pemantauan real-time serta peringatan melalui platform seperti Telegram, tetapi belum banyak sistem yang mengintegrasikan logika kontrol cerdas secara otomatis.

Dalam konteks ini, teknologi Internet of Things (IoT), mikrokontroler ESP32, serta sensor HX711 terbukti efektif untuk memantau volume infus secara akurat [10][11]. Namun untuk mengatur laju infus secara otomatis dan responsif, dibutuhkan pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti logika fuzzy yang mampu menangani data sensor dalam kondisi tidak pasti. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan Sistem Monitoring dan Kontrol Infus Pasien Berbasis Visual Studio dengan Logika Fuzzy yang tidak hanya memantau kondisi infus secara real-time, tetapi juga mampu mengatur laju aliran cairan secara otomatis dengan antarmuka Visual Studio yang ramah pengguna, guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam pelayanan medis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Infus dalam Dunia Medis

Infus merupakan prosedur medis untuk menyalurkan cairan, nutrisi, dan obat-obatan langsung ke aliran darah pasien. Kesalahan dalam pengawasan infus dapat menyebabkan risiko medis seperti pembekuan darah atau emboli udara. Oleh karena itu, pemantauan infus secara otomatis menjadi kebutuhan penting dalam pelayanan medis modern.

2.2 Sistem Monitoring Infus Otomatis

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan infus berbasis teknologi, terutama menggunakan Internet of Things (IoT) dan mikrokontroler. Harahap dan Kurniawan [11] mengembangkan indikator infus berbasis WSN, sementara Marfin [4] memanfaatkan photodiode dan Raspberry Pi untuk mendeteksi sisa cairan. Penelitian-penelitian ini menunjukkan pentingnya otomatisasi dalam pengawasan infus.

2.3 Sensor Optocoupler untuk Deteksi Tetesan

Sensor optocoupler digunakan untuk mendeteksi keberadaan tetesan cairan infus berdasarkan interupsi cahaya. Sensor ini bekerja cepat dan efisien dalam memantau laju tetesan, meskipun memiliki keterbatasan dalam hal akurasi pengukuran volume dibandingkan sensor berat.

2.4 Logika Fuzzy dalam Sistem Medis

Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan yang efektif dalam kondisi ketidakpastian, sangat cocok untuk sistem pengaturan otomatis berbasis data sensor [6][7]. Dalam konteks sistem infus, fuzzy logic dapat mengontrol laju tetesan berdasarkan parameter seperti interval waktu tetesan dan jumlah tetesan.

2.5 Visual Studio sebagai Antarmuka Monitoring

Visual Studio menyediakan lingkungan pengembangan perangkat lunak yang stabil dan fleksibel, memungkinkan pembuatan antarmuka monitoring infus yang interaktif dan mudah digunakan. Penggunaan Visual Studio juga mendukung integrasi dengan mikrokontroler dan sensor melalui komunikasi serial (COM port).

2.6 Kerangka Pemikiran Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor optocoupler untuk membaca tetesan infus, mikrokontroler sebagai pengolah data, logika fuzzy sebagai pengatur otomatis laju tetesan, dan Visual Studio sebagai antarmuka

monitoring. Data dari sensor dikirim ke komputer, diproses dengan fuzzy logic, lalu digunakan untuk mengontrol aktuator pengatur laju infus.

2.7 Penelitian Terdahulu yang Relevan

Berikut ini adalah ringkasan perbandingan dari beberapa penelitian referensi yang relevan terkait sistem monitoring infus.

No	Peneliti	Teknologi/Sensor	Fitur Utama	Keterbatasan
1	[4]	Photodiode dan Raspberry Pi	Deteksi cairan infus	Tidak ada pengaturan laju
2	[6]	TCRT5000 dan Fuzzy Logic	Pengambilan keputusan otomatis	Belum terintegrasi dengan antarmuka
3	[7]	LoadCell dan Telegram	Pemantauan dan notifikasi <i>real-time</i>	Tidak ada kontrol otomatis
4	[11]	WSN dan Indikator otomatis	Notifikasi status infus	Tidak ada kontrol otomatis

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian

Pada tabel menyajikan ringkasan beberapa penelitian terkait sistem monitoring dan kontrol infus berdasarkan teknologi, fitur utama, serta keterbatasannya. Setiap penelitian menunjukkan pendekatan yang berbeda, mulai dari deteksi cairan infus, pengambilan keputusan otomatis, hingga pemantauan dan notifikasi real-time. Namun, secara umum masih terdapat keterbatasan, terutama pada aspek pengaturan laju infus dan penerapan kontrol otomatis yang terintegrasi dengan antarmuka pengguna. Ringkasan ini menunjukkan adanya celah penelitian yang mendasari perlunya pengembangan sistem monitoring dan kontrol infus yang lebih komprehensif dan terintegrasi.

3. Tahap Pelaksanaan

3.1. Tahapan Pelaksanaan Sistem

Tahap pelaksanaan merupakan tahapan yang menjelaskan proses realisasi sistem monitoring dan kontrol infus secara menyeluruh. Tahapan ini dimulai dari pengumpulan data sekunder sebagai dasar pelaksanaan, dilanjutkan dengan

penyusunan desain teknis, pembuatan dan perakitan perangkat, implementasi perangkat lunak, hingga pengujian dan evaluasi sistem. Secara umum, tahapan pelaksanaan sistem terdiri atas:

1. Pengumpulan data sekunder
2. Penyusunan desain teknis sistem
3. Pembuatan dan perakitan perangkat keras
4. Implementasi perangkat lunak
5. Pengujian dan evaluasi sistem

Urutan tahapan tersebut disusun secara sistematis agar pelaksanaan sistem dapat berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan sebagai tahap awal pelaksanaan sistem. Data sekunder diperoleh dari studi literatur, jurnal ilmiah, datasheet komponen, serta standar teknis yang berkaitan dengan sistem infus dan perangkat kendali.

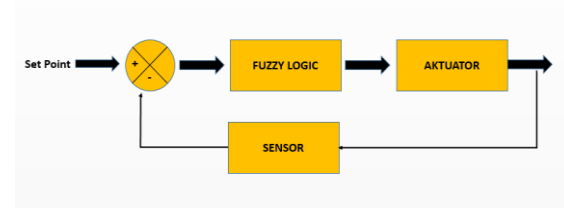
Data yang dikumpulkan meliputi standar laju tetesan infus, karakteristik set infus medis, spesifikasi sensor optocoupler, spesifikasi motor servo, serta karakteristik mikrokontroler ESP32. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam penentuan parameter sistem dan batas kerja perangkat pada tahap pelaksanaan.

3.3. Penyusunan Desain Teknis Sistem

Penyusunan desain teknis dilakukan berdasarkan data sekunder yang telah dikumpulkan. Desain teknis berfungsi sebagai panduan dalam proses pembuatan dan implementasi sistem.

Desain teknis yang disusun meliputi blok diagram sistem, rancangan rangkaian elektrikal, serta alur kerja sistem. Blok diagram digunakan untuk menggambarkan hubungan antara sensor optocoupler, mikrokontroler ESP32, motor servo, dan komputer sebagai media pemantauan.

3.3.1. Blok Sistem

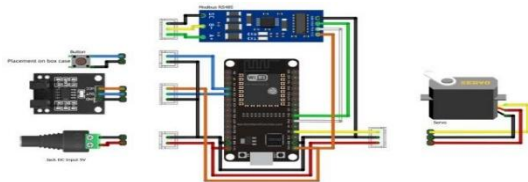


Gambar 3.1. Blok Sistem

Blok diagram menunjukkan sistem kendali close-loop, di mana sensor optocoupler membaca tetesan infus sebagai umpan balik, mikrokontroler ESP32 memproses data dan menjalankan logika pengendalian, motor servo berfungsi sebagai aktuator pengatur aliran infus, dan Visual Studio digunakan sebagai antarmuka monitoring serta pengaturan nilai target laju tetesan.

3.3.2. Desain Elektrikal

Sistem ini meliputi sensor untuk mendeteksi tetesan, Mikrokontroler Esp32, motor servo sebagai aktuator, dan antarmuka HMI (Human-Machine Interface). Sensor berfungsi untuk mendeteksi jumlah tetesan infus yang mengalir, kemudian informasi tersebut dikirim ke mikrokontroler Esp32 sebagai pengendali utama. Berdasarkan informasi yang diterima, mikrokontroler akan mengendalikan servo motor agar secara otomatis menyesuaikan kecepatan tetesan. Semua informasi seperti waktu, tingkat infus, nomor kamar, tanggal, laju tetes, dan status sistem terlihat di HMI, sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi infus.



Gambar 3.2. Desain elektrikal

Gambar tersebut mengilustrasikan skema integrasi sistem kendali tetesan infus yang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan pusat untuk mengoordinasikan umpan balik dari sensor tetesan ke motor servo sebagai aktuator mekanis. Secara akademis, sistem ini menerapkan mekanisme kontrol tertutup (closed-loop control) di mana data laju tetesan diproses oleh ESP32 untuk menyesuaikan posisi servo secara otomatis, sementara antarmuka Modbus RS485 memungkinkan transmisi data telemetri seperti waktu, status sistem, dan laju tetes ke HMI (Human-Machine Interface) untuk pemantauan klinis yang presisi.

3.4. Pembuatan dan Perakitan Perangkat Keras

Tahap pembuatan dan perakitan perangkat keras dilakukan sesuai dengan desain teknis yang telah disusun. Proses perakitan dimulai dengan pemasangan sensor optocoupler pada jalur tetesan infus untuk mendeteksi tetesan cairan.

Mikrokontroler ESP32 dipasang sebagai pengendali utama dan dihubungkan dengan sensor optocoupler, motor servo, serta modul komunikasi. Motor servo dipasang pada mekanisme penjepit selang infus sehingga perubahan sudut servo dapat mengatur laju aliran cairan.

Seluruh komponen dirangkai menggunakan kabel dan konektor yang sesuai, kemudian ditempatkan pada panel atau casing agar sistem aman dan rapi.



Gambar 3.3. Perakitan Alat

Implementasi perangkat keras ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali pusat yang memproses input dari sensor optocoupler untuk mendeteksi laju tetesan infus secara real-time. Berdasarkan data sensorik tersebut, ESP32 mengatur sudut motor servo yang berfungsi sebagai aktuator mekanis untuk menjepit selang infus guna menyesuaikan aliran cairan secara otomatis. Seluruh komponen, termasuk modul komunikasi Modbus RS485 untuk transmisi data ke HMI, dirakit secara modular dalam sebuah casing untuk menjamin keamanan dan stabilitas operasional sistem.

3.5. Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak dilakukan pada mikrokontroler dan komputer. Pada sisi mikrokontroler ESP32, program dikembangkan untuk membaca data sensor optocoupler, menghitung laju tetesan infus, serta mengendalikan motor servo.

Metode pengendalian diterapkan dalam bentuk logika fuzzy yang diprogram pada mikrokontroler ESP32. Variabel masukan

berupa nilai error dan delta error digunakan untuk menghasilkan keluaran berupa perubahan sudut servo.

Pada sisi komputer, aplikasi antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan Visual Studio. Aplikasi ini digunakan untuk menampilkan data monitoring infus secara real-time, mengatur parameter target laju tetesan, serta menampilkan status sistem.

3.5.1. Perancangan Metode Logika Fuzzy

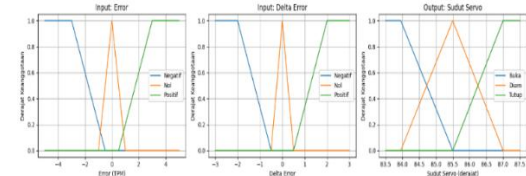
Perancangan logika fuzzy pada sistem ini bertujuan untuk mengatur laju aliran infus secara otomatis agar sesuai dengan nilai target tetesan sebesar 20 tetes per menit (TPM). Metode logika fuzzy digunakan untuk menghasilkan respon pengendalian yang halus dan adaptif terhadap perubahan laju tetesan infus, sehingga penyesuaian aliran tidak terjadi secara tiba-tiba. Variabel input yang digunakan pada sistem ini terdiri dari error (e) dan perubahan error (delta error). Error didefinisikan sebagai selisih antara laju tetesan infus target dan laju tetesan infus aktual, sedangkan delta error menyatakan perubahan nilai error antar waktu sampling. Variabel output pada sistem ini berupa perubahan sudut motor servo (Δ servo) yang berfungsi mengatur besar kecilnya aliran cairan infus melalui mekanisme penjepit selang.

Untuk merepresentasikan variabel input dan output ke dalam bentuk linguistik, digunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga. Pemilihan fungsi keanggotaan segitiga didasarkan pada kemudahan implementasi serta kebutuhan komputasi yang ringan pada mikrokontroler ESP32. Variabel error dibagi ke dalam beberapa himpunan linguistik yang merepresentasikan kondisi laju tetesan terlalu cepat, sesuai target, dan terlalu lambat. Variabel delta error dibagi ke dalam himpunan linguistik yang merepresentasikan arah dan kecepatan perubahan error.

Motor servo yang digunakan memiliki sudut 80° sebagai kondisi terbuka penuh dan 90° sebagai kondisi tertutup penuh. Berdasarkan hasil pengujian mekanik, rentang kerja servo yang efektif dan aman berada pada 83° hingga 87° . Oleh karena itu, variabel output Δ servo dibatasi pada perubahan sudut kecil agar pengaturan laju infus berlangsung secara bertahap dan stabil.

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk aturan IF-THEN yang menghubungkan kondisi variabel input terhadap keluaran sistem. Aturan ini dirancang untuk memastikan bahwa apabila laju tetesan infus lebih cepat dari target, sistem memberikan aksi pengendalian untuk memperkecil aliran, sedangkan apabila laju tetesan lebih lambat dari target, sistem meningkatkan aliran secara bertahap.

Proses inferensi fuzzy dilakukan berdasarkan aturan yang telah ditetapkan, kemudian nilai keluaran tegas (crisp) diperoleh melalui proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Nilai hasil defuzzifikasi selanjutnya digunakan sebagai dasar perubahan sudut motor servo pada setiap waktu sampling, dengan pembatasan sudut agar tetap berada pada rentang kerja yang telah ditentukan.



Gambar 3.4. Fungsi keanggotaan variabel input dan output logika fuzzy

Sistem ini menerapkan Logika Fuzzy sebagai algoritma kendali cerdas untuk mengatur laju tetesan infus secara dinamis melalui tiga tahapan utama. Pertama, tahap fuzzifikasi mengubah data numerik berupa Error (selisih laju aktual dengan target) dan Delta Error (perubahan selisih) menjadi variabel linguistik seperti Negatif, Nol, dan Positif berdasarkan kurva fungsi keanggotaan. Kedua, nilai-nilai tersebut diproses melalui mekanisme inferensi menggunakan aturan (rule-based) untuk menentukan respon sistem. Terakhir, tahap defuzzifikasi menghasilkan output konkret berupa perubahan sudut motor servo (Buka, Diam, atau Tutup) guna melakukan koreksi mekanis pada selang infus demi mencapai stabilitas aliran yang presisi.

3.5.2. Aturan Logika Fuzzy

Aturan logika fuzzy digunakan untuk mengatur perubahan sudut motor servo berdasarkan kondisi laju tetesan infus terhadap nilai target. Jika laju tetesan lebih cepat dari target, servo ditutup secara perlahan. Jika laju tetesan sesuai target, posisi servo

dipertahankan. Jika laju tetesan lebih lambat dari target, servo dibuka secara perlahan. Perubahan error digunakan untuk memastikan

No	Error	Delta Error	Output
1	Positif	Positif	Buka
2	Positif	Nol	Buka
3	Nol	Nol	Diam
4	Negatif	Negatif	Tutup
5	Negatif	Nol	Tutup

penyesuaian dilakukan secara halus dan stabil.

Tabel 3.1. Aturan Fuzzy

Keluaran sistem berupa perubahan sudut servo (Δ servo) yang dibatasi pada rentang 83° – 87° agar pengaturan laju infus berlangsung aman dan bertahap.

3.5.3. Perhitungan Fuzzy Mamdani

Perhitungan berikut menunjukkan proses logika fuzzy Mamdani berdasarkan nilai TPM aktual yang terbaca sebesar 15 TPM dengan target 20 TPM.

1. Perhitungan Error

Rumus error:

$$e = \text{Target TPM} - \text{TPM Aktual}$$

$$e = 20 - 15 = 5$$

2. Perhitungan Delta Error

Rumus delta error:

$$\Delta e = e(k) - e(k-1)$$

$$\Delta e = 5 - 5 = 0$$

3. Fuzzifikasi Error

Untuk nilai $e = 5$, berdasarkan fungsi keanggotaan fuzzy:

$$\mu_{\text{Error Negatif}} = 0$$

$$\mu_{\text{Error Nol}} = 0$$

$$\mu_{\text{Error Positif}} = 1$$

4. Fuzzifikasi Delta Error

Untuk nilai $\Delta e = 0$, diperoleh:

$$\mu_{\text{Delta Error Negatif}} = 0$$

$$\mu_{\text{Delta Error Nol}} = 1$$

$$\mu_{\text{Delta Error Positif}} = 0$$

5. Inferensi Fuzzy Mamdani

Aturan fuzzy yang aktif:

IF Error Positif AND Delta Error Nol THEN

Servo Buka

Derajat aktivasi (α):

$$\alpha = \min(1, 1) = 1$$

6. Defuzzifikasi (Metode Centroid)

Nilai sudut servo untuk masing-masing kondisi:

$$\text{Servo Buka} = 83,95^\circ$$

$$\text{Servo Diam} = 85,50^\circ$$

$$\text{Servo Tutup} = 87,00^\circ$$

Rumus centroid:

$$\theta = (\sum \mu_i \times \theta_i) / \sum \mu_i$$

Substitusi nilai:

$$\theta = (1 \times 83,95) / 1 = 83,95^\circ$$

No	TPM Aktual	Error	Himpunan Error Aktif	Output Fuzzy Aktif	Sudut Servo ($^\circ$)
1	1–15	+19 s.d. +5	Positif	Buka	$\approx 83,9$ – $84,2$
2	16–18	+4 s.d. +2	Positif	Buka + Diam	$\approx 84,3$ – $85,4$
3	19	+1	Positif + Nol	Buka + Diam	$\approx 84,7$
4	20	0	Nol	Diam	$\approx 85,5$
5	21–23	–1 s.d. –3	Negatif + Nol	Diam + Tutup	$\approx 85,7$ – $86,1$
6	24–25	–4 s.d. –5	Negatif	Tutup	$\approx$ $86,3$ – $86,5$

Tabel 3.2. Ringkasan Respon Sistem pada Berbagai Kondisi TPM

Tabel tersebut merangkum mekanisme logika fuzzy dalam menstabilkan laju infus dengan mengoreksi error antara TPM aktual dan target melalui perubahan sudut motor servo. Secara teknis, sistem memberikan respons "Buka" (sudut 84°) saat aliran terlalu lambat (error positif) dan respons "Tutup" (sudut 86°) saat aliran terlalu cepat (error negatif). Kondisi setimbang atau steady state tercapai pada nilai error nol, di mana motor servo berada pada posisi "Diam" ($85,5^\circ$) untuk mempertahankan laju tetesan yang diinginkan.

3.5.4. Visual Studio

Antarmuka pengguna (Graphical User Interface/GUI) pada sistem Smart Infusion dirancang menggunakan Visual Studio sebagai sarana interaksi antara pengguna dan sistem pemantauan dan pengendalian infus. GUI ini berfungsi untuk menampilkan data pemantauan infus secara real-time sambil menyediakan pengaturan parameter infus secara terpusat. Pada antarmuka ini, pengguna dapat mengatur

laju tetesan infus target dalam tetes per menit dan volume cairan infus total dalam mililiter, yang kemudian digunakan sebagai acuan oleh sistem dalam proses pengendalian. Data laju tetes ditampilkan secara numerik dan diperoleh dari pembacaan sensor optocoupler yang diproses oleh mikrokontroler, sementara kondisi volume cairan ditampilkan dalam bentuk grafik seiring waktu untuk memudahkan pemantauan. Selain itu, GUI juga menampilkan informasi pendukung berupa total tetes, waktu antar tetes, waktu yang telah berlalu, dan status infus, yang menunjukkan kondisi aktual sistem. Fitur log notifikasi disediakan untuk mencatat aktivitas sistem dan peristiwa penting selama proses infus, sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan pemecahan masalah jika terjadi gangguan. Dengan antarmuka ini, Sistem Infus Cerdas mampu meningkatkan efektivitas dan akurasi pemantauan infus serta memudahkan tenaga medis dalam mengawasi dan mengontrol infus pasien secara real-time.



Gambar 3.5. Desain Gui

Berikut ini adalah memperlihatkan antarmuka HMI yang menampilkan jumlah tetesan, waktu, kecepatan, dan volume cairan infus.

3.6. Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem monitoring dan kontrol infus. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan cairan infus dan mengamati respon sistem terhadap perubahan laju tetesan.

Pengujian meliputi pengujian pembacaan sensor tetesan, pengujian respon motor servo terhadap perubahan laju infus, serta pengujian tampilan data pada antarmuka Visual Studio. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi laju tetesan untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan baik.

3.7. Evaluasi Pelaksanaan Sistem

Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan. Evaluasi difokuskan pada kestabilan laju tetesan infus, respon pengendalian motor servo, serta keakuratan data monitoring yang ditampilkan pada antarmuka pengguna.

Hasil evaluasi digunakan untuk menilai kesiapan sistem serta memprediksi kinerja sistem apabila diterapkan dalam kondisi penggunaan sebenarnya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Akurasi Sensor Optocoupler

Pengujian sensor optocoupler dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan laju tetesan infus oleh sensor dengan perhitungan manual menggunakan stopwatch dalam satuan tetes per menit (TPM).

Tabel 4.1. Pengujian Sensor

No	Manual	Sensor	Error	Error (%)
1	29	32	+3	10.34%
2	29	31	+2	6.89%
3	29	31	+2	6.89%
4	29	30	+1	3.44%
5	29	30	+1	3.44%
6	29	29	0	0%
7	29	30	+1	3.44%
8	29	29	0	0%
9	29	30	+1	3.44%
10	29	30	+1	3.44%
11	29	29	0	0%
12	29	30	+1	3.44%
13	29	31	+2	6.89%
14	29	30	+1	3.44%
15	29	30	+1	3.44%
16	29	30	+1	3.44%
17	29	30	+1	3.44%
18	29	29	0	0%
19	29	29	0	0%
20	28	29	+1	3.44%

Berdasarkan data pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa selisih antara pembacaan manual dan sensor berkisar antara 0 hingga 3 tetes per menit. Nilai error terbesar sebesar 10,34% terjadi pada kondisi awal pengujian, sedangkan pada sebagian besar pengujian lainnya error berada pada rentang 0% hingga 6,89%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor optocoupler

mampu mendeteksi tetesan infus dengan tingkat akurasi yang cukup baik dan masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring infus. Perbedaan pembacaan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan metode manual menggunakan stopwatch yang bergantung pada ketelitian pengamat serta jeda waktu respon sensor terhadap tetesan pertama.

4.2. Pengujian Input Fuzzy

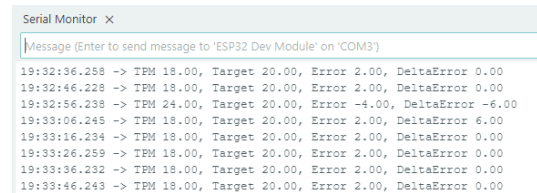
Pengujian input fuzzy dilakukan untuk memverifikasi bahwa nilai error dan delta error yang dihasilkan sistem sesuai dengan perubahan laju tetesan infus terhadap nilai target.

Tabel 4.2. Pengujian Input Fuzzy

No	Waktu	TPM	TargetTPM	Error	Delta Error
1	19:14:06	18	20	+2	0
2	19:14:16	18	20	+2	0
3	19:14:26	18	20	+2	0
4	19:14:36	18	20	+2	0
5	19:14:46	24	20	-4	-6
6	19:14:56	18	20	+2	+6
7	19:15:06	18	20	+2	0
8	19:15:16	18	20	+2	0
9	19:15:26	30	20	-10	-12
10	19:15:36	18	20	+2	+12
11	19:15:46	18	20	+2	0
12	19:15:56	18	20	+2	0
13	19:16:06	24	20	-4	-6
14	19:16:16	18	20	+2	+6

15	19:16:26	18	20	+2	0
16	19:16:36	18	20	+2	0
17	19:16:46	18	20	+2	0
18	19:16:56	24	20	-4	-6
19	19:17:06	18	20	+2	+6

Tabel tersebut menyajikan data pengujian input fuzzy pada sistem kontrol infus, yang menunjukkan hubungan antara waktu operasional, laju tetesan aktual (TPM), dan target laju yang ditetapkan (Target TPM). Secara akademis, tabel ini mendokumentasikan fluktuasi variabel Error (selisih TPM aktual terhadap target) dan Delta Error (perubahan nilai error antar waktu) sebagai parameter masukan utama bagi kontroler fuzzy. Data tersebut membuktikan kemampuan sistem dalam mengidentifikasi kondisi penyimpangan, di mana nilai error positif menunjukkan laju aliran yang terlalu lambat, sementara error negatif mengindikasikan aliran yang terlalu cepat, guna menentukan respons korektif pada aktuatur motor servo secara real-time.



Gambar 4.1. Serial Monitor Input Fuzzy

Gambar tersebut mendokumentasikan hasil pengujian sistem kendali infus menggunakan logika fuzzy untuk menstabilkan laju tetesan (Tetes Per Menit atau TPM). Data pada tabel menunjukkan variabel Error (selisih TPM aktual terhadap target) dan Delta Error yang berfungsi sebagai parameter masukan utama bagi mikrokontroler ESP32.

4.3. Pengujian Servo

Pengujian motor servo dilakukan untuk mengetahui respon mekanisme penjepit selang infus terhadap perubahan sudut servo. Pengujian dilakukan pada rentang sudut 80°

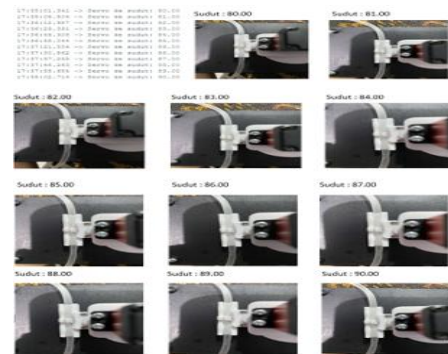
hingga 90° untuk mengamati batas mekanik penjepitan selang infus.

Berdasarkan hasil pengujian, sudut 80° merepresentasikan kondisi penjepit terbuka penuh, sedangkan sudut 90° merepresentasikan kondisi tertutup penuh. Namun, untuk menjaga kestabilan aliran infus, rentang kerja operasi normal sistem dibatasi pada sudut 83° hingga 86°, sesuai dengan perancangan pada Bab III. Rentang sudut 83° hingga 86° memberikan respon perubahan laju aliran yang lebih halus dan stabil, sehingga sesuai digunakan sebagai batas kerja motor servo pada sistem monitoring dan kontrol infus.

No	Sudut Servo (°)	Kondisi Mekanik Selang
1	80°	Terbuka penuh
2	81°	Terbuka
3	82°	Terbuka stabil
4	83°	Terbuka – awal transisi
5	84°	Terbuka sebagian
6	85°	Posisi tengah
7	86°	Mulai menekan
8	87°	Tekanan meningkat
9	88°	Hampir tertutup
10	89°	Nyaris tertutup
11	90°	Tertutup penuh

Tabel 4.3. Uji Servo

Tabel tersebut merangkum hasil karakterisasi mekanik aktuator yang menetapkan korelasi antara sudut elektrik motor servo (80°–90°) dengan tingkat kompresi selang infus. Secara akademis, data ini berfungsi sebagai basis pemetaan output kendali, di mana sudut 80° merepresentasikan kondisi terbuka penuh dan sudut 90° merepresentasikan kondisi tertutup penuh. Penentuan parameter ini memungkinkan algoritma fuzzy melakukan penyesuaian mekanis secara presisi untuk mengontrol laju aliran cairan sesuai target klinis.



Gambar 4.2. Uji Servo

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut servo 80–90 derajat merupakan rentang kerja efektif, dengan kondisi tertutup tercapai pada sudut 90 derajat

4.4. Pengujian Fuzzy (Uji Arah Respon)

Pengujian motor servo pada sudut 80° dan 90° dilakukan untuk mengamati arah respon sistem terhadap kondisi ekstrem. Pengujian ini bertujuan memverifikasi bahwa logika fuzzy memberikan respon pengendalian yang benar ketika laju tetesan berada jauh dari nilai target. Pengujian ini bukan merupakan kondisi operasi normal sistem.

Pada kondisi operasi normal, sudut motor servo dibatasi pada rentang 83° hingga 86° sesuai dengan hasil pengujian mekanik yang telah ditetapkan pada tahap perancangan.

N o	Waktu	TP M	Targe t TPM	Erro r	Sudu t Servo (°)
1	20:47:29	42	20	-22	90
2	20:47:39	0	20	+20	80
3	20:47:49	36	20	-16	90
4	20:47:59	0	20	+20	80
5	20:48:09	36	20	-16	90
6	20:48:19	0	20	+20	80
7	20:48:29	36	20	-16	90
8	20:48:39	0	20	+20	80
9	20:48:49	36	20	-16	90

10	20:48:59	0	20	+20	80
11	20:49:09	36	20	-16	90
12	20:49:19	0	20	+20	80
13	20:49:29	30	20	-10	90

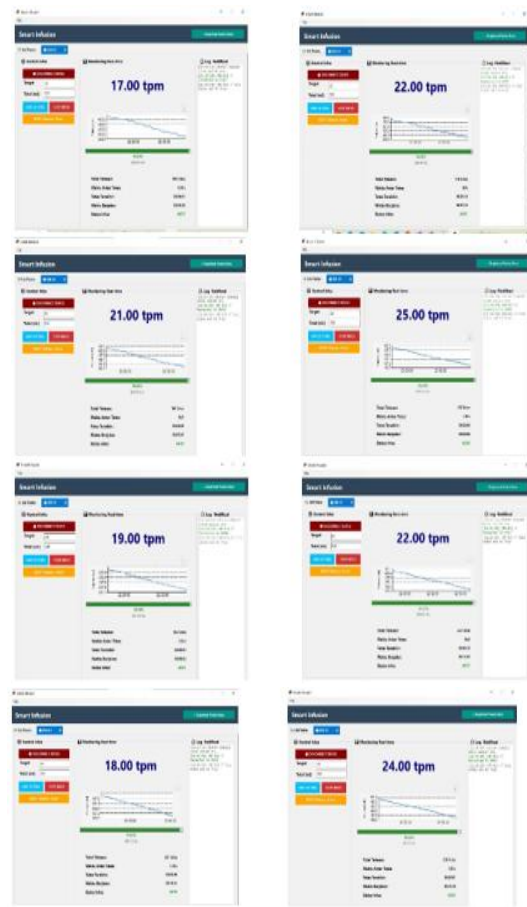
Tabel 4.4. Pengujian Fuzzy (Uji Arah Respon Sistem)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa arah respon fuzzy sudah sesuai, di mana kondisi laju tetesan di bawah target menyebabkan servo membuka, dan kondisi di atas target menyebabkan servo menutup.

4.5. Hasil

Hasil Uji 1

Sistem diuji dengan target laju tetesan sebesar 20 TPM untuk mengevaluasi kemampuan pengendalian logika fuzzy dalam melakukan tracking terhadap nilai target. Hasil pengujian menunjukkan laju tetesan infus berturut-turut sebesar 17 TPM, 22 TPM, 21 TPM, 25 TPM, 19 TPM, 22 TPM, 18 TPM, dan 24 TPM. Nilai awal yang berada di bawah target menyebabkan sistem memberikan aksi pembukaan penjepit selang secara bertahap, sehingga laju tetesan meningkat mendekati dan melewati nilai target. Ketika laju tetesan berada di atas target, sistem merespons dengan menutup penjepit selang secara perlahan untuk menurunkan aliran. Fluktuasi yang terjadi dipengaruhi oleh dinamika mekanik penjepit selang dan karakteristik aliran cairan infus, namun sistem tetap menunjukkan arah respon yang benar, tidak mengalami osilasi ekstrem, serta mampu melakukan pengejaran (tracking) terhadap target 20 TPM secara stabil dalam batas toleransi yang dapat diterima



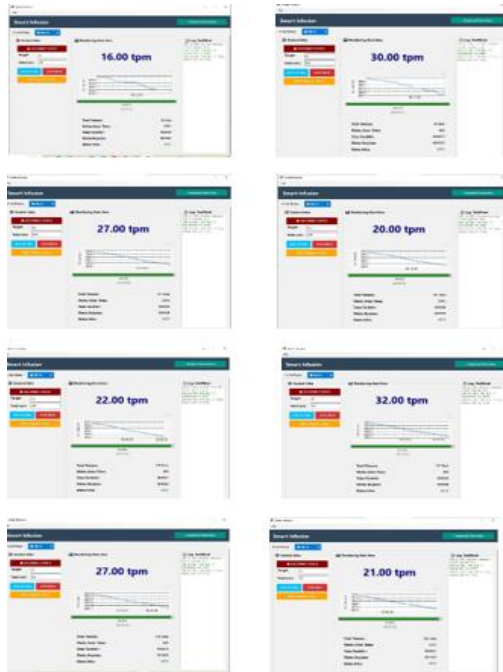
Gambar 4.3. Hasil uji 1

Hasil pengujian sistem kontrol infus dengan target 20 TPM, menunjukkan respon logika fuzzy yang mampu melakukan tracking laju tetesan secara bertahap menuju nilai target

Hasil Uji 2

Hasil pengujian ke-2 menunjukkan laju tetesan infus berturut-turut sebesar 16 TPM, 30 TPM, 27 TPM, 20 TPM, 22 TPM, 32 TPM, 27 TPM, dan 21 TPM dengan target laju tetesan 20 TPM. Pada kondisi awal, laju tetesan berada di bawah target, sehingga sistem memberikan aksi pembukaan servo untuk meningkatkan aliran cairan. Ketika laju tetesan meningkat dan berada jauh di atas target, sistem merespons dengan aksi penutupan servo secara bertahap untuk menurunkan laju aliran. Nilai laju tetesan yang mencapai 20 TPM menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai setpoint, sementara fluktuasi yang terjadi di sekitar target dipengaruhi oleh karakteristik mekanik penjepit selang dan dinamika aliran cairan infus. Meskipun demikian, sistem tetap menunjukkan arah respon yang benar, tidak mengalami osilasi

ekstrem, serta mampu melakukan tracking terhadap target 20 TPM secara stabil dalam batas toleransi yang dapat diterima.

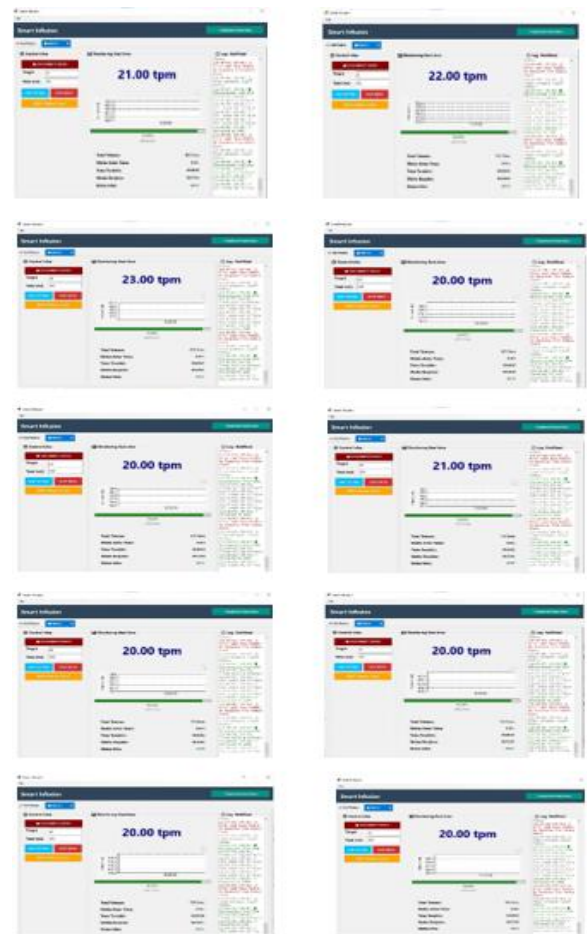


Gambar 4.4. Hasil uji 2

Hasil pengujian sistem kontrol infus dengan target 20 TPM, menunjukkan respon logika fuzzy yang mampu melakukan tracking laju tetesan secara bertahap menuju nilai target

Hasil Uji 3

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol infus berbasis logika fuzzy Mamdani mampu melakukan pengendalian laju tetesan dengan baik terhadap target 20 TPM. Pada fase awal pengujian, laju tetesan masih mengalami fluktuasi dengan nilai 21, 22, dan 23 TPM sebagai respon transien akibat penyesuaian awal aktuator servo terhadap kondisi aliran cairan. Setelah fase transien tersebut, sistem menunjukkan kemampuan tracking yang baik dengan laju tetesan yang semakin mendekati nilai target hingga akhirnya mencapai kondisi steady-state, di mana laju tetesan stabil pada 20 TPM secara berulang. Fluktuasi kecil yang masih terjadi berada dalam batas toleransi yang dapat diterima dan tidak menimbulkan osilasi ekstrem, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem mampu mempertahankan laju infus secara stabil dan aman di sekitar nilai target.



Gambar 4.5. Hasil uji 3

Hasil pengujian sistem kontrol infus dengan target 20 TPM, menunjukkan respon logika fuzzy yang mampu melakukan tracking laju tetesan secara bertahap menuju nilai target.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan kontrol infus pasien berbasis Visual Studio dengan logika fuzzy telah berhasil direalisasikan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini mampu melakukan pemantauan laju tetesan infus secara real-time menggunakan sensor optocoupler, serta menampilkan informasi kondisi infus secara informatif melalui antarmuka Visual Studio. Penerapan logika fuzzy dengan parameter error dan delta error terbukti mampu mengatur sudut servo secara adaptif untuk

menjaga kestabilan laju infus sesuai dengan target tetesan yang ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesalahan pembacaan yang relatif kecil dengan rata-rata error berada pada rentang yang masih dapat diterima, serta mampu mencapai kondisi stabil dengan waktu settling yang singkat dan steady-state error yang rendah. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan berpotensi meningkatkan efisiensi tenaga medis, mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, serta meningkatkan keselamatan pasien dalam proses pemberian cairan infus.

5.2. Saran

Meskipun sistem telah berjalan dengan baik, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan performa dan keandalan sistem. Disarankan agar pada penelitian selanjutnya dilakukan integrasi dengan sensor tambahan, seperti sensor volume atau berat cairan infus, untuk meningkatkan akurasi pemantauan sisa cairan. Selain itu, pengembangan sistem monitoring jarak jauh berbasis jaringan atau Internet of Things (IoT) dapat dipertimbangkan agar data infus dapat diakses secara terpusat oleh tenaga medis. Peningkatan algoritma kontrol, seperti penggabungan logika fuzzy dengan metode kontrol lain atau optimasi parameter fuzzy, juga dapat dilakukan untuk memperoleh respons sistem yang lebih optimal. Dari sisi antarmuka, GUI Visual Studio dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur notifikasi otomatis atau alarm kondisi kritis untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat di lingkungan klinis.

Daftar Pustaka

- [1] M. F. Syauqi, . J., M. Zaini, and . N., "Implementasi Microcontroller Arduino Dalam Rancang Bangun Pendeteksi Naiknya Darah Pada Selang Infus," *Technol. J. Ilm.*, vol. 13, no. 1, p. 72, 2022, doi: 10.31602/tji.v13i1.5891.
- [2] S. A. Kadiran, E. Supriyanto, and M. Y. Maghribi, "Sistem Monitoring dan Controlling Cairan Infus Berbasis Website," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 57, 2023, doi: 10.30595/jrre.v5i1.17743.
- [3] W. Wadianto and Z. Fihayah, "Simulasi Sensor Tetesan Cairan, pada Infus Konvensional," *J. Kesehat.*, vol. 7, no. 3, p. 394, 2016, doi: 10.26630/jk.v7i3.221.
- [4] M. Marfin, "Aplikasi IoT Pada Sistem Monitoring Cairan Infus Berbasis Raspberry PI," *JURIKOM (Jurnal Ris. Komputer)*, vol. 9, no. 1, p. 152, 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i1.3840.
- [5] Ruslan Agussalim, "Monitoring Cairan Infus Berdasarkan Indikator Kondisi," *J. Ilm. Ilk.*, vol. 8, no. Desember, pp. 145–152, 2016.
- [6] M. Mukhsin, P. G. Wibisono, H. Setiawan, D. Widiatmoko, and A. Achmad I, "Sistem Pemantauan Volume Cairan Infus Berbasis Fuzzy Logic untuk Penanganan Korban Bencana Alam di Rumah Sakit Darurat TNI," *J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 6, no. 1, pp. 91–97, 2024, doi: 10.33650/jeeecom.v6i1.8362.
- [7] M. A. Afandi, S. I. Purnama, and G. A. Pangestu, "Sistem Monitoring Kondisi Infus Otomatis Berbasis Notifikasi Telegram," *Techno.Com*, vol. 22, no. 4, pp. 893–903, 2023, doi: 10.33633/tc.v22i4.8646.
- [8] H. Suprayogi, . I., and G. Priyandoko, "Pembuatan Infus Elektronik Rumah Sakit," *J. Apl. Dan Inov. Ipteks "Soliditas"*, vol. 2, no. 1, p. 25, 2019, doi: 10.31328/js.v2i1.1285.
- [9] M. Rakadytia Akbar and A. Stefanie, "Sistem Monitoring Infus Menggunakan HX 711 Untuk Membantu Perawat," *JIMPS J. Ilm. Mhs. Pendidik. Sej.*, vol. 8, no. 3, 2023, [Online]. Available: <http://jim.unsyiah.ac.id/sejarah/mm>
- [10] M. Diana, K. Kemalasari, E. Puspita, and A. Sasongko Jati, "Sistem Kendali dan Monitoring Cairan Infus pada Proses Tatalaksana Dehidrasi Berbasis IoT," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 3, pp. 145–152, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i3.21636.
- [11] R. R. Harahap and F. Kurniawan, "Automatic Indicator System for Wsn Utilization Iot Stuffing Machine Infusion Water Volume Detector," *JURTEKSI (Jurnal Teknol. dan Sist. Informasi)*, vol. 10, no. 1, pp. 87–94, 2023, doi: 10.33330/jurteksi.v10i1.2727.
- [12] T. F. Aliansih, R. Hidayati, and K. Sari, "Sistem Pemantauan Infus Berbasis IoT dengan Notifikasi Real-Time Melalui Telegram," vol. 19, no. 2, pp. 156–170, 2024.
- [13] D. K. Abadi, A. Kholiq, S. Sumber, and S. Luthfiyah, "Pemantauan Infus Pump Secara Wireless Menggunakan Modul RF HC-11," *J. Teknokes*, vol. 12, no. 2, pp. 1–8, 2019, doi: 10.35882/teknokes.v12i2.1.
- [14] Handa Gustiawan, "Perancangan Sistem Pemantau Level Cairan Infus Menggunakan Nodemcu Dan Sensor Photodiode Terintegrasi

- Iot (Internet of Things),” *Ayan*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [15] R. A. Primahayu, F. Utaminingrum, and D. Syauqy, “Sistem Monitoring Cairan Infus Terpusat Menggunakan Pengolahan Citra Digital,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 8, pp. 649–657, 2017, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/191>
- [16] H. P. Sianipar, Z. Azmi, and K. Ibnutama, “Monitoring Infus Pada Pasien Berbasis Iot Dengan Aplikasi Blynk Menggunakan Metode Simplex,” *J. Cyber Tech*, vol. 5, no. 2, p. 74, 2023, doi: 10.53513/jct.v5i2.3116.