

# MONITORING DAN KONTROL INFUS PASIEN BERBASIS VISUAL STUDIO DENGAN LOGIKA FUZZY

Rafael Rivaldi<sup>1</sup>, Erwin Anggiat<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani, Batam Center, Teluk Tering, Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau 29461, Telp. (0778) 469858

## Keywords:

*Automatic infusion, optocoupler sensor, Visual Studio, monitoring system, fluid control.*

## Correspondent Email:

erwintobing0707@gmail.com



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).

**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  $\pm 1$  TPM dan waktu setting 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.

**Abstract.** *Infusions are an important medical procedure in delivering fluids and medications to patients intravenously. Monitoring infusions that are still done manually risks causing fluid replacement delays and medical complications such as blood clots or air embolism. This research proposes a Visual Studio-based automated infusion monitoring and control system that utilizes an optocoupler sensor to detect the droplet rate in real-time in units of droplets per minute (TPM), as well as fuzzy logic to automatically regulate the infusion rate. The sensor reading data is sent via the microcontroller to the Visual Studio application acting as the target parameter setting interface, while the fuzzy process is fully executed in ESP32. The test results showed that the system was able to detect and display the infusion rate with an average reading error of  $\pm 4.5\%$ , and was able to maintain the stability of the infusion rate with a steady-state error of  $\pm 1$  TPM and a settling time of about 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 automatic monitoring and control of patient infusions.*

## 1. PENDAHULUAN

Infus merupakan salah satu metode penting dalam penanganan medis yang digunakan untuk menyalurkan cairan, nutrisi, maupun obat-obatan secara langsung ke pembuluh darah pasien. Berdasarkan beberapa penelitian, proses pemantauan infus yang masih dilakukan secara manual berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam penggantian cairan infus. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko komplikasi pada pasien, seperti terjadinya pembekuan darah pada selang infus maupun masuknya udara ke dalam tubuh pasien apabila tidak segera ditangani [1][2]. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Wadianto dan Fihayah, berbagai upaya awal telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya dengan merancang sistem indikator otomatis berbasis *Wireless Sensor Network (WSN)* yang digunakan untuk memantau tetesan cairan infus pada sistem infus konvensional [3]. Selain itu, Marfin mengembangkan sistem monitoring cairan infus berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan *Raspberry Pi* yang dilengkapi sensor *photodiode* untuk mendeteksi kondisi volume cairan, sehingga sistem dapat memberikan notifikasi otomatis ketika cairan infus mendekati habis [4]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi pemantauan dan sistem peringatan, belum sampai pada tahap pengendalian laju infus secara otomatis.

Beberapa penelitian lain juga telah dilakukan, seperti penggunaan sensor warna *TCS3200* untuk mendeteksi keberadaan darah pada selang infus sebagai indikator kondisi darurat [5]. Selain itu, sistem monitoring berbasis *wireless* menggunakan modul *NRF24L01* yang dikombinasikan dengan antarmuka *LabVIEW* telah dikembangkan untuk pemantauan jarak jauh [6]. Pendekatan lain juga memanfaatkan *logika fuzzy* dengan sensor *TCRT5000* untuk membantu pengambilan keputusan pada kondisi yang tidak pasti [7]. Di sisi lain, penggunaan sensor *load cell* dan *photodiode* telah dimanfaatkan untuk pemantauan volume cairan secara *real-time* yang terintegrasi dengan notifikasi melalui platform seperti Telegram, meskipun integrasi dengan sistem kontrol cerdas masih terbatas [8][9].

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 adalah prosedur medis di mana cairan, nutrisi, dan obat diberikan langsung ke dalam darah pasien. Kesalahan saat mengawasi pemberian infus bisa berujung pada risiko kesehatan seperti terjadinya pembekuan darah atau emboli udara. Oleh karena itu, memantau infus secara otomatis sangat penting dalam layanan kesehatan modern.

### 2.2. Sistem Monitoring Infus Otomatis

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan infus berbasis teknologi, khususnya dengan memanfaatkan *Internet of Things (IoT)* dan *mikrokontroler*. Harahap dan Kurniawan merancang sistem indikator infus berbasis *Wireless Sensor Network (WSN)* yang digunakan untuk mendeteksi volume cairan infus secara otomatis [11]. Sejalan dengan itu, Marfin mengembangkan sistem monitoring berbasis *IoT* menggunakan *Raspberry Pi* dan sensor *photodiode* untuk memantau sisa cairan infus serta memberikan notifikasi ketika cairan mendekati habis [4]. Hasil dari berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan teknologi *otomatisasi* memiliki peran penting dalam meningkatkan efektivitas pengawasan infus pada pasien.

### 2.3. Sensor Optocoupler untuk Deteksi Tetesan

Sensor *optocoupler* digunakan untuk mendeteksi adanya tetesan cairan infus dengan cara menghentikan atau mengganggu cahaya. Sensor ini bekerja cepat dan efisien dalam mengawasi kecepatan tetesan, meskipun kurang

tepat dalam mengukur 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* memberikan lingkungan yang stabil dan mudah digunakan untuk membuat alat pelacakan infus yang *interaktif* dan bisa diakses dengan mudah. Penggunaan *Visual Studio* juga memungkinkan integrasi dengan *mikrokontroler* dan sensor menggunakan komunikasi serial melalui *port COM*.

**2.6. Kerangka Pemikiran Sistem**

Sistem yang dibuat terdiri dari sensor optocoupler untuk mengukur tetesan infus, *mikrokontroler* sebagai alat pengolah data, logika *fuzzy* sebagai pengatur kecepatan tetesan secara otomatis, dan *Visual Studio* sebagai antarmuka untuk memantau prosesnya. Data dari sensor dikirim ke komputer, kemudian diproses menggunakan metode *fuzzy logic*, setelah itu hasilnya digunakan untuk mengatur motor pengontrol aliran infus.

**2.7 Penelitian Terdahulu yang Relevan**

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

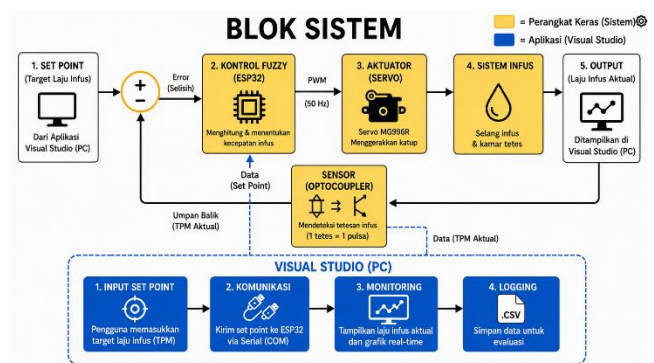
Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian

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

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. Blok Sistem**



Gambar 3.1. Blok Sistem

Sistem infus pintar ini bekerja secara otomatis dengan menerapkan sistem kendali kalang tertutup (*closed-loop system*) guna menjaga akurasi aliran cairan medis ke tubuh pasien. Proses diawali saat tenaga medis menentukan target kecepatan tetesan dalam satuan Tetes Per Menit (TPM) melalui fitur *Input Set Point* pada aplikasi komputer. Target tersebut kemudian dikirimkan ke *sirkuit* fisik lewat Komunikasi Datalink (jalur serial). Di dalam perangkat keras, *mikrokontroler ESP32* (Sistem Pengendali) bertugas memproses data tersebut dengan menghitung selisih (*error*) antara target utama dan kondisi riil di lapangan. Hasil perhitungan ini diubah menjadi sinyal perintah untuk menggerakkan Katup *Servo (Aktuator)* yang secara mekanis menjepit atau melonggarkan selang pada Mekanisme Infus

agar laju aliran cairan berubah sesuai kebutuhan.

Untuk memastikan sistem tetap presisi, Sensor Deteksi Tetesan berbasis optik akan membaca setiap cairan yang jatuh dan mengubahnya menjadi pulsa digital. Data tetesan aktual ini dialirkan kembali sebagai umpan balik menuju pengendali *ESP32* untuk terus mengevaluasi dan mengoreksi pergerakan servo secara berkala jika terjadi penyimpangan. Di saat yang sama, data *real* dari sensor tersebut dikirimkan kembali ke komputer untuk diolah ke dalam menu Monitoring Grafik secara *real-time*. Seluruh rekam jejak performa alat dan riwayat pemberian cairan ini akan direkam secara otomatis melalui fungsi *Logging Data* ke dalam format file .csv, yang berguna sebagai dokumen digital untuk kebutuhan arsip medis maupun evaluasi klinis pasien.

### 3.2 Sistem Umum

Sistem monitoring dan kontrol infus yang dikembangkan terdiri dari sensor *optocoupler*, mikrokontroler *ESP32*, motor *servo*, dan aplikasi *Visual Studio* sebagai antarmuka pengguna. Sensor *optocoupler* berfungsi mendeteksi tetesan cairan infus secara *real-time* dan menghasilkan data laju tetesan dalam satuan Tetes Per Menit (TPM). Data tersebut diproses oleh *ESP32* sebagai pengendali utama sistem.

*ESP32* menjalankan *algoritma logika fuzzy* menggunakan *variabel error* dan *delta error* sebagai masukan. Nilai *error* diperoleh dari selisih antara TPM target dan TPM aktual, sedangkan *delta error* merupakan perubahan error antar waktu sampling. Hasil proses *fuzzy* digunakan untuk menentukan perubahan sudut motor *servo* yang berfungsi sebagai *aktuator* pengatur aliran cairan infus melalui mekanisme penjepit selang.

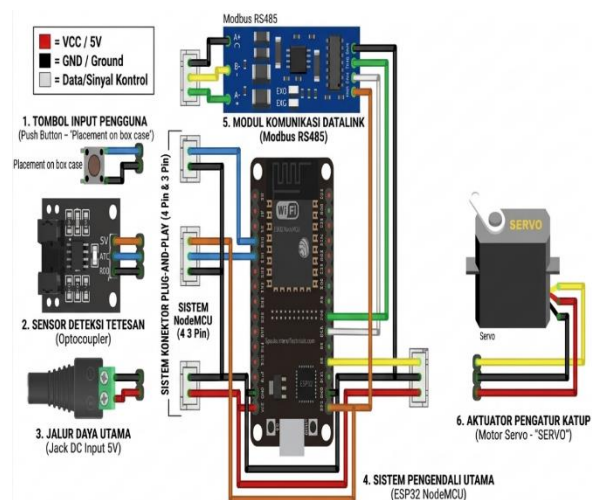
Sistem menerapkan mekanisme *closed-loop control*, di mana laju tetesan yang terukur oleh sensor digunakan sebagai umpan balik untuk mengevaluasi kesesuaian terhadap nilai target. Dengan mekanisme ini, sistem mampu melakukan koreksi otomatis terhadap perubahan laju aliran sehingga kestabilan tetesan infus dapat dipertahankan.

Aplikasi *Visual Studio* berfungsi sebagai *Human Machine Interface (HMI)* yang digunakan untuk menampilkan data monitoring secara *real-time*, mengatur nilai target TPM,

serta menampilkan status operasional sistem. Seluruh proses logika *fuzzy* dan pengendalian servo dieksekusi pada *ESP32*, sedangkan *Visual Studio* hanya berfungsi sebagai media monitoring dan konfigurasi parameter sistem.

### 3.3. 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

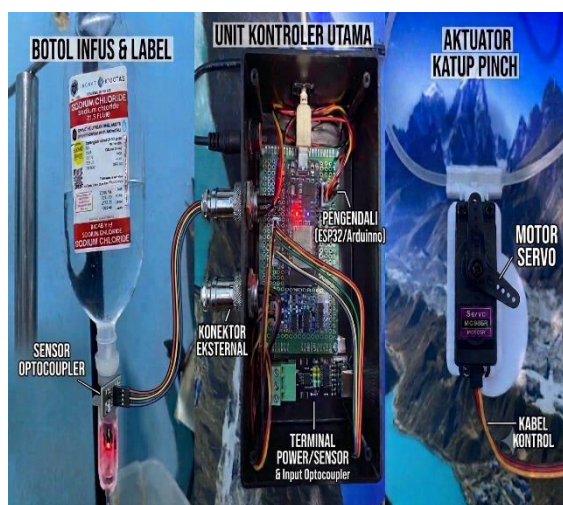
waktu, status sistem, dan laju tetes ke *HMI (Human-Machine Interface)* untuk pemantauan klinis yang presisi.

### 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

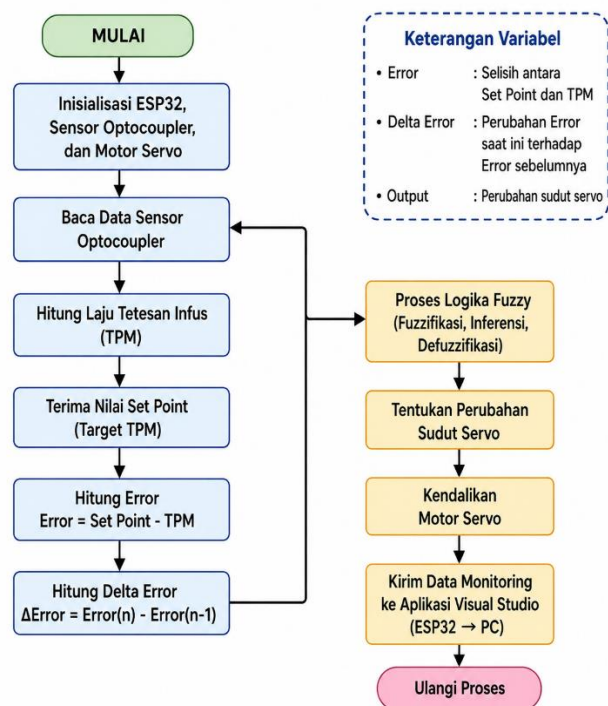
data ke *HMI*, dirakit secara modular dalam sebuah *casing* untuk menjamin keamanan dan stabilitas operasional sistem.

### 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.

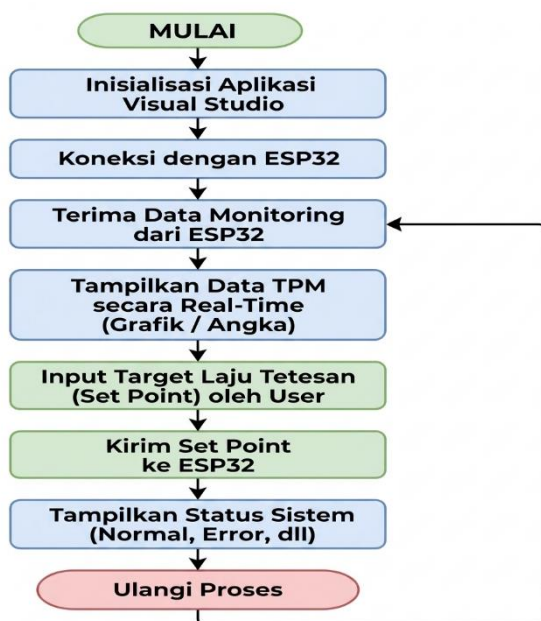
Pada sisi komputer, aplikasi antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan *Visual Studio*. Aplikasi ini digunakan untuk menampilkan data monitoring infus secara *real-time*, mengatur parameter target laju tetesan, serta menampilkan status sistem.



Gambar 3.4. Gambar Flowchart Perangkat Lunak ESP32

Flowchart perangkat lunak *ESP32* menggambarkan proses kerja sistem dalam melakukan monitoring dan pengendalian laju

tetesan infus secara otomatis. Sistem diawali dengan pembacaan data dari sensor *optocoupler* untuk mendeteksi jumlah tetesan infus. Data tersebut kemudian diolah untuk menghitung laju tetesan aktual dan dibandingkan dengan nilai target yang telah ditentukan. Selisih hasil perbandingan (*error*) dan perubahan error digunakan sebagai masukan logika *fuzzy* untuk menentukan penyesuaian sudut motor *servo*. Selanjutnya, servo mengatur bukaan selang infus agar laju tetesan tetap sesuai dengan nilai yang diinginkan. Proses ini berlangsung secara berulang dan terus-menerus selama sistem beroperasi.



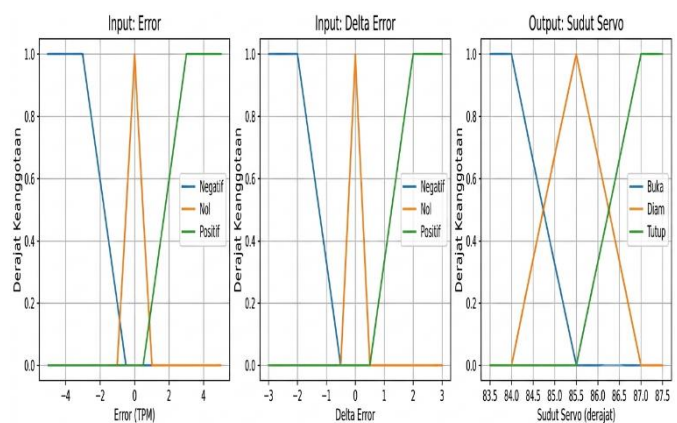
Gambar 3.5. Gambar Flowchart Perangkat Lunak Visual Studio

Flowchart perangkat lunak Visual Studio menjelaskan alur kerja aplikasi yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna dalam sistem monitoring infus. Aplikasi melakukan komunikasi dengan ESP32 untuk menerima data laju tetesan infus secara real-time. Data yang diterima kemudian ditampilkan pada layar sehingga pengguna dapat memantau kondisi infus dengan mudah. Selain itu, aplikasi menyediakan fitur untuk memasukkan nilai target laju tetesan yang akan dikirim ke ESP32 sebagai acuan pengendalian.

### 3.5.1. Perancangan Metode Logika Fuzzy

Perancangan algoritma logika fuzzy pada sistem ini ditujukan untuk mengotomatisasi

pengaturan aliran cairan infus agar konsisten berada pada target 20 tetes per menit (TPM) dengan karakteristik respons yang halus serta adaptif. Mekanisme kendali ini mengandalkan dua parameter masukan utama, yakni *error*  $\mu$  *Delta Error* yang merepresentasikan deviasi antara laju target dengan laju aktual—dan *delta error* yang mengukur fluktuasi nilai kesalahan antar-waktu sampling. Output yang dihasilkan berupa perubahan sudut motor servo  $\mu$  *Delta Error* untuk menggerakkan katup penjepit selang secara presisi. Guna meminimalkan beban komputasi pada *mikrokontroler ESP32*, proses *fuzzifikasi* memanfaatkan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga yang dibagi ke dalam beberapa himpunan *linguistik* untuk mengategorikan kondisi kecepatan aliran serta arah perubahannya. Di sisi mekanis, motor servo dikonfigurasi memiliki batas kerja efektif pada rentang sudut  $83^\circ$  hingga  $87^\circ$  demi menjaga keamanan dan mencegah perubahan debit yang drastis. Berdasarkan basis aturan (*rule-base*) berbasis prinsip *IF-THEN*, sistem akan mempersempit jepitan selang saat aliran terlalu cepat dan membukanya secara bertahap jika aliran melambat. Melalui tahapan inferensi tersebut, nilai tegas (*crisp*) akhirnya diekstraksi menggunakan metode defuzzifikasi *centroid* untuk menentukan koreksi posisi sudut servo pada setiap siklus *sampling* secara stabil.



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 penyesuaian dilakukan secara halus dan stabil.

Tabel 3.2. Aturan Fuzzy

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

Keluaran sistem berupa perubahan sudut servo ( $\Delta servo$ ) yang dibatasi pada rentang  $83^\circ - 87^\circ$  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 ( $\alpha$ ):  $\alpha = \min(1, 1) = 1$

6. *Defuzzifikasi* (Metode Centroid)

Nilai sudut *servo* untuk masing-masing kondisi: *Servo* Buka =  $83,95^\circ$ , *Servo* Diam =  $85,50^\circ$ , *Servo* Tutup =  $87,00^\circ$ . Rumus centroid:  $\theta = (\sum \mu_i \times \theta_i) / \sum \mu_i$ . Substitusi nilai:  $\theta = (1 \times 83,95) / 1 = 83,95^\circ$ .

Tabel 3.3. Ringkasan Respon Sistem pada Berbagai Kondisi TPM

No	TPM Aktual	Error	Himpunan Error Aktif	Output Fuzzy Aktif	Sudut Servo (°)
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 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  $84^\circ$ ) saat aliran terlalu lambat (error positif) dan *respons* "Tutup" (sudut  $86^\circ$ ) 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.

**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**

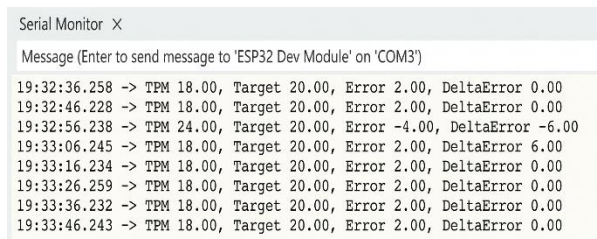
Pengujian input *fuzzy* dilakukan untuk memverifikasi bahwa nilai error dan delta error yang dihasilkan sistem sesuai dengan perubahan laju tetesan infus terhadap nilai target.

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 aktuator 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°

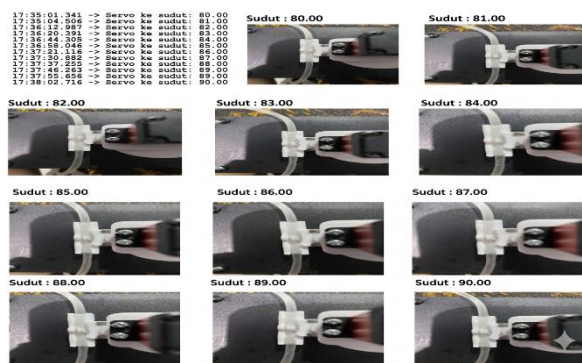
hingga 90° untuk mengamati batas mekanik penjepitan selang infus.

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.

Tabel 4.3. Uji Servo

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 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.

Tabel 4.4. Pengujian Fuzzy (Uji Arah Respon Sistem)

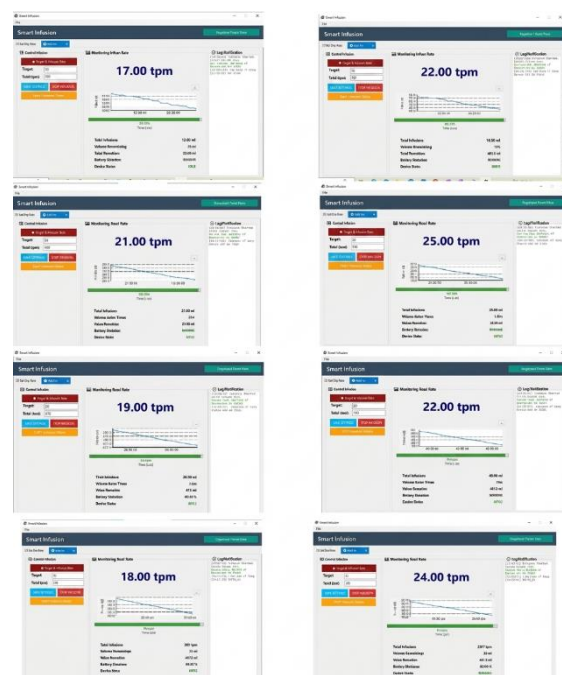
No	Waktu	TPM	Target TPM	Error	Sudut Servo (°)
1	20:47:29	42	20	-22	90
2	20:47:39	0	20	+20	80
3	20:47:49	36	20	-16	90
4	20:47:59	0	20	+20	80
5	20:48:09	36	20	-16	90
6	20:48:19	0	20	+20	80
7	20:48:29	36	20	-16	90
8	20:48:39	0	20	+20	80
9	20:48:49	36	20	-16	90
10	20:48:59	0	20	+20	80
11	20:49:09	36	20	-16	90
12	20:49:19	0	20	+20	80
13	20:49:29	30	20	-10	90

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**

Berdasarkan dokumentasi antarmuka pemantauan, pengujian sirkuit kendali dilakukan dengan menetapkan parameter target (setpoint) tetap sebesar 20 TPM guna mengukur respons pelacakan (tracking) algoritma fuzzy. Data riil yang terekam secara berkala menunjukkan fluktuasi dinamis dengan urutan nilai 17, 22, 21, 25, 19, 22, 18, dan 24 TPM. Defisit laju aliran pada fase awal (17 TPM) diantisipasi oleh sistem melalui pembukaan katup mekanis secara bertahap demi mendongkrak volume cairan mendekati target. Sebaliknya, begitu laju tetesan melonjak di atas batas atas (25 TPM), sirkuit kontrol langsung mempersempit celah penjepit selang secara perlahan untuk meredam aliran. Meskipun dinamika mekanis katup dan sifat hidrolika cairan infus memicu terjadinya riak fluktuasi di sekitar garis acuan, sistem terbukti adaptif dalam menjaga stabilitas arah respons tanpa mengalami osilasi ekstrem, sehingga tetap beroperasi secara aman dalam batas toleransi medis yang diizinkan.

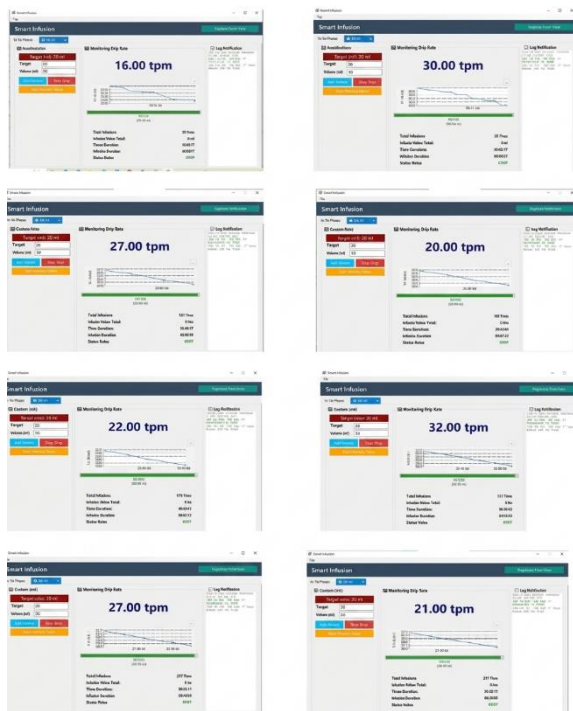


Gambar 4.3. Hasil uji 1

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

## 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/jecom.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.8794,2023,doi:10.33330/jurteks.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. Utamingrum, 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/jptiik/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.