

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Kajian pustaka terhadap penelitian terdahulu merupakan salah satu bagian penting dalam penyusunan Tugas Akhir. Kajian ini dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai metode, komponen, serta teknologi yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem monitoring dan pengendalian infus. Selain itu, tinjauan pustaka digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode yang digunakan serta mengetahui perbedaan dan pengembangan sistem yang dilakukan pada Tugas Akhir ini.

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan sistem monitoring dan pengendalian laju tetes infus berbasis IoT sebagai berikut. Pada penelitian pertama dilakukan oleh Astuti dkk. (2022) dengan judul “Alat Kendali dan Monitoring Volume serta Laju Tetes Infus Berbasis Internet of Things” yang diterbitkan pada Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial [4]. Penelitian tersebut membahas perancangan alat yang dapat melakukan monitoring volume dan laju tetes infus secara nirkabel menggunakan teknologi Internet of Things. Sistem menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor load cell, sensor photodioda, OLED 20x4, Blynk, dan motor servo. Data dari sensor digunakan untuk mengetahui volume dan laju tetesan infus, kemudian ditampilkan pada OLED dan aplikasi Blynk secara real-time. Penelitian tersebut juga menggunakan pengaturan posisi servo untuk menentukan laju tetesan berdasarkan usia pasien. Penelitian ini memiliki keterkaitan yang cukup dekat dengan Tugas Akhir karena sama-sama menggabungkan fungsi monitoring volume, monitoring laju tetesan, IoT, OLED, dan aktuator servo. Perbedaannya, Tugas Akhir ini menggunakan ESP32, load cell HX711, sensor tetes LM393, serta website sebagai media monitoring dan input TPM target.

Penelitian kedua dilakukan oleh Handayani, Mardiani, dan Taqwa (2023) dengan judul “Perancangan Sistem Monitoring Infus Menggunakan Mikrokontroler

Arduino Uno Secara Real-Time” yang diterbitkan pada Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi [5]. Penelitian tersebut memanfaatkan teknologi IoT untuk melakukan pemantauan kondisi infus dari jarak jauh. Sistem menggunakan load cell, optocoupler, webcam, Arduino Uno, serta NodeMCU ESP32 sebagai penghubung ke internet. Data hasil pemantauan dikirimkan menggunakan komunikasi serial dan protokol MQTT sehingga dapat diakses melalui sistem pemantauan secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sistem sekitar 80% dan data pemantauan dapat diakses melalui aplikasi Android. Penelitian ini relevan dengan Tugas Akhir karena menunjukkan penerapan sensor volume, sensor tetesan, ESP32, dan komunikasi IoT pada sistem infus. Perbedaannya, Tugas Akhir ini berfokus pada penggabungan monitoring sisa cairan, perhitungan TPM aktual, serta pengendalian TPM berdasarkan nilai target yang diberikan melalui website.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Setiawan, Nawawi, dan Setiawan (2024) dengan judul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Smart Infusion” yang diterbitkan pada ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, Volume 3 Nomor 3, halaman 172–181 [6]. Penelitian tersebut mengembangkan sistem monitoring dan kontrol infus berbasis IoT yang dapat digunakan untuk memantau kondisi cairan infus secara daring. Sistem menggunakan load cell untuk mendeteksi berat cairan infus, sensor LM393 Speed Arduino untuk mendeteksi tetesan cairan pada selang infus, serta servo motor sebagai aktuator untuk mengatur laju aliran cairan infus. Sistem juga dilengkapi dengan pemantauan melalui website dan notifikasi Telegram ketika volume cairan mencapai batas tertentu.

Penelitian keempat dilakukan oleh Ilham, Harsoyo, Olla, dan Maulana (2025) dengan judul “Rancang Bangun Alat Monitoring Volume dan Kontrol Tetesan Infus Berbasis Internet of Things (IoT)” yang diterbitkan pada JUSTEK: Jurnal Sains dan Teknologi [7]. Penelitian tersebut menggunakan load cell, modul HX711, dan sensor optocoupler untuk melakukan pengukuran volume serta jumlah tetesan infus. Data sensor dikirimkan ke platform IoT sehingga dapat dipantau secara real-time menggunakan perangkat seluler maupun komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan monitoring volume dan tetesan infus serta memberikan

notifikasi ketika terjadi kondisi kritis, seperti volume cairan yang hampir habis atau tetesan yang tidak normal. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan Tugas Akhir pada penggunaan load cell, HX711, sensor pendeteksi tetesan, dan IoT. Perbedaannya terletak pada sensor pendeteksi tetesan dan mekanisme pengendalian, karena Tugas Akhir ini menggunakan sensor LM393 untuk memperoleh TPM aktual dan servo MG90S untuk melakukan pengendalian berdasarkan TPM target yang diberikan melalui website.

Berdasarkan kajian jurnal yang telah dibahas, sistem pada penelitian sebelumnya umumnya telah menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) untuk melakukan monitoring kondisi infus, seperti pemantauan volume cairan dan laju tetesan secara *real-time*. Beberapa penelitian juga telah menerapkan sensor *load cell* untuk mengetahui jumlah cairan yang tersisa serta sensor optik untuk mendeteksi tetesan infus. Selain fungsi monitoring, terdapat penelitian yang telah mengembangkan sistem kendali laju tetesan menggunakan aktuator berupa motor servo berdasarkan nilai *setpoint* yang telah ditentukan. Namun, pada beberapa penelitian tersebut, sistem monitoring dan pengendalian masih memiliki perbedaan dalam metode pengukuran, mekanisme pengendalian, serta media antarmuka yang digunakan.

Pada penelitian ini, sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan fungsi monitoring dan pengendalian laju tetesan infus dalam satu sistem berbasis IoT. Pengukuran sisa cairan dilakukan menggunakan load cell yang terhubung dengan modul HX711, sedangkan laju tetesan dideteksi menggunakan sensor tetes LM393. Nilai laju tetesan yang diperoleh dari sensor dihitung secara otomatis oleh ESP32 sehingga menghasilkan TPM aktual. Berbeda dengan nilai TPM aktual yang diperoleh melalui pembacaan sensor, TPM target ditentukan oleh pengguna melalui website. Nilai TPM aktual kemudian dibandingkan dengan TPM target sebagai dasar dalam proses pengendalian menggunakan servo motor MG90S. Dengan demikian, sistem yang dirancang menerapkan mekanisme umpan balik, yaitu hasil pembacaan TPM aktual digunakan untuk melakukan penyesuaian terhadap posisi servo.

Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan website sebagai media monitoring sekaligus pengaturan TPM target, sehingga pengguna tidak hanya dapat mengetahui

kondisi sisa cairan dan TPM aktual, tetapi juga dapat menentukan nilai TPM target melalui perangkat seperti laptop maupun telepon pintar. Sistem juga dilengkapi dengan OLED dan push button sebagai antarmuka lokal untuk menampilkan informasi dan memilih kategori pasien yang terdiri atas anak-anak, dewasa, dan pasien gagal ginjal. Penggunaan kategori tersebut menjadi bagian dari rancangan dan skenario pengujian sistem.

Dengan demikian, perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada penggabungan pengukuran sisa cairan, perhitungan TPM aktual secara otomatis, input TPM target melalui website, serta pengendalian laju tetesan menggunakan servo berdasarkan umpan balik TPM aktual dalam satu sistem. Integrasi tersebut diharapkan dapat menghasilkan prototipe sistem monitoring dan pengendalian infus yang lebih terintegrasi serta mampu melakukan pemantauan dan penyesuaian laju tetesan berdasarkan parameter yang ditentukan pengguna.

2.2 Dasar Teori

Dasar teori merupakan landasan yang digunakan dalam proses perancangan, pembuatan, dan pengujian Tugas Akhir. Dasar teori ini memuat konsep-konsep yang berhubungan dengan sistem monitoring dan pengendalian laju tetesan infus berbasis Internet of Things (IoT).

2.2.1 Infus Intravena 0,9%



Gambar 2.1 Infus Nacl 0,9%

Infus intravena merupakan salah satu metode pemberian cairan melalui akses intravena dengan cara memasukkan larutan secara langsung ke dalam pembuluh darah. Cairan diberikan menggunakan wadah infus yang dihubungkan dengan selang dan perangkat pengatur aliran sehingga cairan dapat dialirkan secara bertahap. Dalam penerapannya, pemantauan jumlah cairan yang tersisa dan laju aliran merupakan bagian penting dalam pengawasan pemberian cairan infus. Penggunaan cairan intravena juga banyak dijumpai dalam pelayanan kesehatan, salah satunya adalah larutan Natrium Klorida (NaCl) 0,9%. Penelitian di bidang pelayanan kesehatan menunjukkan penggunaan NaCl 0,9% pada terapi intravena, termasuk sebagai larutan yang diberikan melalui akses intravena [8].

Natrium Klorida (NaCl) 0,9% merupakan larutan yang mengandung natrium klorida dalam air dengan konsentrasi 0,9%. Larutan ini dikenal sebagai normal saline dan termasuk larutan elektrolit yang bersifat isotonis. Sifat tersebut menyebabkan NaCl 0,9% banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan medis yang berkaitan dengan pemberian cairan melalui jalur intravena. Dalam penelitian yang membahas penggunaan cairan intravena, NaCl 0,9% disebut sebagai salah satu cairan yang digunakan dalam pemberian terapi intravena [9].

Pada Tugas Akhir ini, infus intravena NaCl 0,9% digunakan sebagai objek prototipe alat dalam proses monitoring dan pengendalian laju tetesan. Sisa cairan pada wadah infus dipantau menggunakan load cell dan modul HX711 dengan memanfaatkan perubahan berat wadah selama cairan berkurang. Selain itu, laju tetesan cairan NaCl 0,9% dideteksi menggunakan sensor LM393 untuk memperoleh nilai Tetes Per Menit (TPM) aktual.

Nilai TPM aktual yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan dibandingkan dengan nilai TPM target yang dimasukkan oleh pengguna melalui website. Hasil perbandingan tersebut digunakan sebagai dasar pengendalian motor servo MG90S untuk mengatur mekanisme pengatur aliran pada selang infus.

Dalam penelitian ini, penggunaan NaCl 0,9% dibatasi sebagai media cairan pada prototipe dan objek pengujian sistem, sehingga sistem yang dikembangkan tidak

digunakan untuk menentukan jenis cairan, dosis terapi, maupun keputusan medis terhadap pasien.

Tetes Per Menit (TPM) merupakan parameter yang digunakan untuk menyatakan laju aliran cairan infus berdasarkan jumlah tetesan yang terjadi dalam satu menit. Parameter ini menunjukkan seberapa cepat cairan keluar dari wadah infus melalui selang dan drip chamber. Dalam sistem infus konvensional, laju tetesan umumnya diamati secara langsung dengan memperhatikan jumlah tetesan yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Pengukuran tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui apakah laju aliran cairan telah sesuai dengan nilai yang ditentukan.

Dalam sistem yang dirancang, TPM dibedakan menjadi dua jenis, yaitu TPM aktual dan TPM target. TPM aktual merupakan nilai laju tetesan yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor LM393. Sementara itu, TPM target merupakan nilai laju tetesan yang ditentukan oleh pengguna melalui website.

Nilai TPM aktual dapat diperoleh dengan menghitung jumlah tetesan yang terdeteksi dalam periode waktu tertentu. Apabila pengamatan dilakukan selama satu menit, maka nilai TPM dapat dihitung secara langsung berdasarkan jumlah tetesan yang terdeteksi.

Perhitungan Tetes Per Menit (TPM) pada infus dapat dilakukan menggunakan persamaan : [10]

$$TPM = \frac{V \times FT}{T \times 60}$$

atau

$$TPM = \frac{\text{Jumlah cairan (mL)} \times \text{faktor tetes}}{\text{waktu pemberian (jam)} \times 60}$$

Keterangan :

- TPM = laju tetesan dalam tetes/menit;
- V = kebutuhan cairan;
- FT = faktor tetes;

- T = lama pemberian (jam).

Sistem memiliki dua nilai TPM, yaitu TPM aktual dan TPM target. TPM aktual diperoleh secara otomatis dari hasil pembacaan sensor LM393, sedangkan TPM target merupakan nilai yang ditentukan oleh pengguna sesuai dengan kondisi pasien.

Nilai TPM aktual kemudian dibandingkan dengan TPM target menggunakan persamaan:

$$e(t) = TPM_{target} - TPM_{aktual}$$

Keterangan :

- $e(t)$ = eror atau selisih nilai TPM;
- TPM_{target} = nilai TPM yang ditentukan pengguna;
- TPM_{aktual} = nilai TPM hasil pembacaan sensor.

Hasil perbandingan tersebut digunakan oleh ESP32 untuk menentukan tindakan terhadap motor servo MG90S. Apabila TPM aktual lebih rendah daripada TPM target, sistem melakukan penyesuaian posisi servo untuk meningkatkan laju tetesan. Sebaliknya, apabila TPM aktual lebih tinggi daripada TPM target, servo melakukan penyesuaian untuk mengurangi laju tetesan.

Konsep monitoring dan pengendalian berdasarkan TPM juga digunakan dalam penelitian Lestari et al. mengenai sistem monitoring dan kendali infus pasien dari ruang sentral perawat. Penelitian tersebut menggunakan ESP32, sensor untuk mendeteksi kondisi cairan dan kecepatan tetesan, serta motor servo untuk mengatur kecepatan tetesan berdasarkan target TPM.

2.2.2 Klasifikasi Pasien

Klasifikasi pasien pada sistem yang dirancang bertujuan untuk memberikan beberapa pilihan pengaturan laju tetesan infus berdasarkan karakteristik dan kebutuhan pasien. Pada Tugas Akhir ini, pasien diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu

pasien dewasa, pasien anak-anak, dan pasien dengan gangguan atau gagal ginjal. Pengelompokan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan parameter pengaturan pada prototipe, khususnya nilai Tetes Per Menit (TPM) yang dapat disesuaikan dengan mode pengoperasian yang dipilih.

Pengaturan laju pemberian cairan intravena pada dasarnya tidak hanya ditentukan berdasarkan kelompok usia, tetapi juga dipengaruhi oleh volume cairan yang diberikan, waktu pemberian, jenis infus set, berat badan, kondisi klinis, serta kebutuhan terapi pasien [11]. Oleh karena itu, klasifikasi pada sistem ini digunakan sebagai parameter pengaturan pada prototipe, bukan sebagai pengganti penentuan terapi oleh tenaga kesehatan. Klasifikasi kategori pasien dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Pasien

Kategori	Karakteristik	Pertimbangan Pengaturan
Dewasa	Pasien usia dewasa	Volume cairan, waktu pemberian, kondisi klinis, dan faktor tetes infus set
Anak anak	Pasien anak dengan kebutuhan cairan berdasarkan usia dan berat badan	Berat badan, kebutuhan cairan, kondisi klinis, dan jenis infus set
Gagal ginjal	Pasien dengan penurunan fungsi ginjal	Fungsi ginjal, produksi urine, status cairan, edema, dan risiko fluid overload

2.2.2.1 Pasien Dewasa

Pada pasien dewasa, kebutuhan cairan intravena ditentukan berdasarkan kondisi klinis dan tujuan pemberian cairan. Oleh karena itu, nilai TPM tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan usia, tetapi perlu mempertimbangkan volume cairan yang akan diberikan dan lama waktu pemberiannya.

Pada penggunaan infus set gravitasi, makrodrip umumnya memiliki faktor tetes sekitar 20 tetes/mL dan sering digunakan untuk pemberian cairan umum pada pasien dewasa. Namun, faktor tetes sebenarnya bergantung pada jenis infus set yang

digunakan. Selain itu makrodrip tersedia dengan beberapa faktor tetes, termasuk 20 tetes/mL, sedangkan mikrodrip umumnya memiliki faktor tetes 60 tetes/mL. [10]

Pada prototipe ini implementasi pasien dewasa menggunakan cairan infus sebanyak 500 mL dengan faktor tetes makro sebesar 20 tetes/mL. Cairan infus tersebut direncanakan diberikan selama 8,33 jam, maka nilai Tetes Per Menit (TPM) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 TPM &= \frac{V \times FT}{T \times 60} \\
 TPM &= \frac{500 \times 20}{8,33 \times 60} \\
 TPM &= \frac{10.000}{499,8} \\
 TPM &= 20,01 \approx 20 \text{ tetes/menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai TPM sebesar 20 tetes/menit. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai salah satu parameter TPM pada kategori pasien dewasa dalam pengujian prototipe.

2.2.2.2 Pasien Anak-Anak

Pasien anak-anak memiliki kebutuhan pemberian cairan yang berbeda dengan pasien dewasa. Penentuan kebutuhan cairan pada anak umumnya mempertimbangkan berat badan dan usia, sehingga laju pemberian cairan tidak dapat disamakan dengan pasien dewasa. Mayoritas pemberian infus cairan harian pada anak dirancang untuk dihabiskan secara perlahan selama 24 jam. Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menghitung kebutuhan cairan anak adalah metode Holliday-Segar. Metode ini didasarkan pada berat badan anak dan biasanya digunakan untuk anak-anak yang sehat dalam kondisi normal. [12]

Pada prototipe ini implementasi pasien anak yang beratnya 15 kg menggunakan cairan infus sebanyak 500 mL dengan jenis makrodrip yang memiliki faktor tetes

sebesar 20 tetes/mL. Cairan tersebut diberikan selama kurang lebih 24 jam, maka nilai Tetes Per Menit (TPM) dapat dihitung sebagai berikut:

$$10 \text{ kg pertama} = 10 \times 100 \text{ ml} = 1.000 \text{ ml}$$

$$5 \text{ kg sisanya} = 5 \times 50 \text{ ml} = 250 \text{ ml}$$

$$\text{Total kebutuhan cairan per 24 jam: } 1.000 + 250 = 1.250 \text{ ml/hari}$$

Kemudian menghitung laju tetes cairan dan TPM :

$$\text{Kecepatan} = \frac{1250 \text{ ml}}{24 \text{ jam}} = 52,08 \text{ ml/jam}$$

$$\text{TPM makrodrip} = \frac{52,08 \times 20}{60}$$

$$\text{TPM} = \frac{1041,6}{60}$$

$$\text{TPM} = 17 \text{ tetes/menit}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai 17 TPM dapat digunakan sebagai salah satu parameter pengujian pada kategori pasien anak-anak dengan menggunakan infus set makro drip. Penggunaan makro drip pada pasien anak tidak otomatis berarti TPM-nya harus 17. Nilai 17 TPM di atas adalah hasil perhitungan berdasarkan contoh volume 500 mL dan waktu pemberian 9 jam 48 menit. Untuk kondisi di lapangan, volume dan laju infus anak ditentukan berdasarkan berat badan, kondisi klinis, dan instruksi tenaga medis.

2.2.2.3 Pasien Gagal Ginjal

Pasien dengan gangguan atau gagal ginjal memerlukan perhatian khusus dalam pemberian cairan karena kemampuan ginjal dalam mengatur keseimbangan cairan dan elektrolit dapat mengalami penurunan. Pada penyakit ginjal kronis stadium lanjut, pembatasan cairan dapat diperlukan, terutama apabila pasien mengalami penurunan fungsi ginjal, oliguria, edema, atau kelebihan volume cairan. Kebutuhan cairan pada pasien gagal ginjal stadium lanjut perlu diindividualisasi berdasarkan fungsi ginjal

residual, produksi urine, tekanan darah, kenaikan berat badan, dan kondisi klinis pasien. [13]

Pada prototipe ini implementasi pasien gagal ginjal menggunakan cairan infus sebanyak 500 mL dengan jenis makrodrop yang memiliki faktor tetes sebesar 20 tetes/mL. Cairan tersebut diberikan selama kurang lebih 23 jam 49 menit , maka nilai Tetes Per Menit (TPM) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 TPM &= \frac{V \times FT}{T \times 60} \\
 TPM &= \frac{500 \times 20}{23,49 \times 60} \\
 TPM &= \frac{10.000}{1.428,6} \\
 TPM &= 7 \text{ tetes/menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai 7 TPM digunakan sebagai parameter yang digunakan pada prototipe mode Ginjal, bukan sebagai standar bahwa pasien gagal ginjal secara umum harus mendapat 7 TPM. Penentuan laju infus pasien di lapangan bergantung pada kondisi klinis dan instruksi tenaga kesehatan.

2.2.3 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik terhubung dengan jaringan internet sehingga perangkat tersebut dapat melakukan proses pengiriman, penerimaan, dan pertukaran data. Dalam sistem IoT, perangkat fisik umumnya terdiri atas sensor, mikrokontroler, aktuator, jaringan komunikasi, dan antarmuka pengguna.

Penerapan IoT memungkinkan data yang diperoleh dari sensor tidak hanya ditampilkan pada perangkat lokal, tetapi juga dapat dikirimkan melalui jaringan sehingga dapat dipantau menggunakan perangkat lain seperti smartphone atau laptop.

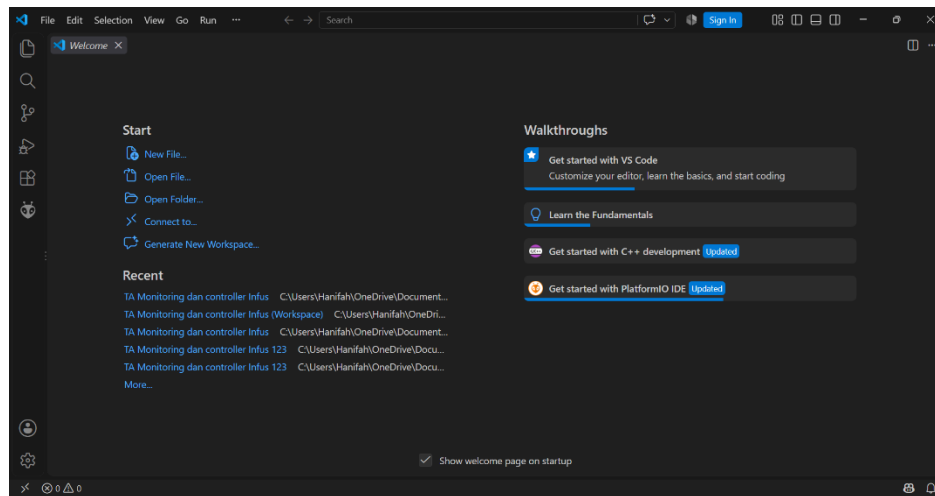
Hal tersebut membuat IoT banyak digunakan dalam pengembangan sistem monitoring yang membutuhkan pemantauan secara real-time atau jarak jauh.

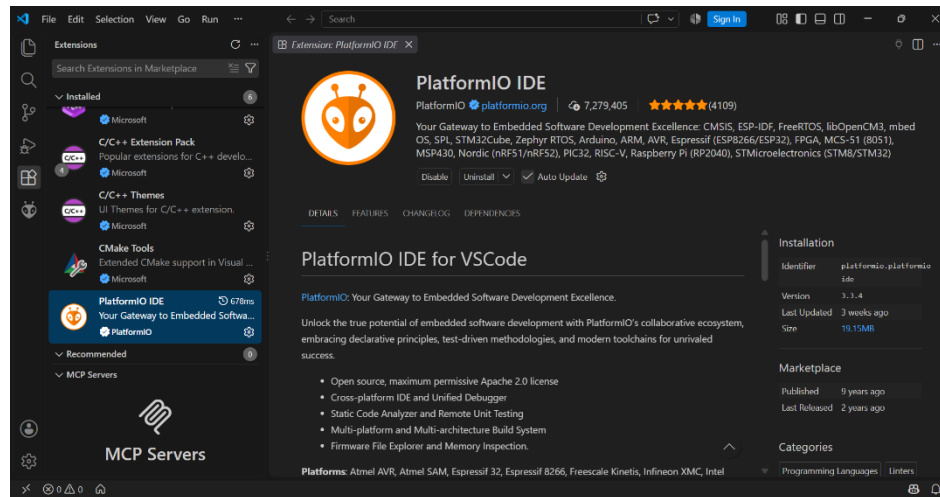
Dalam bidang monitoring infus, teknologi IoT dapat digunakan untuk mengirimkan data kondisi cairan dan laju tetesan dari perangkat infus menuju sistem monitoring. Penelitian sebelumnya telah menggunakan ESP32, load cell, dan HX711 untuk melakukan pengukuran berat cairan infus kemudian mengirimkan data tersebut ke aplikasi monitoring melalui jaringan internet. [14]

Pada Tugas Akhir ini, IoT digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dengan website. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke website sehingga pengguna dapat melihat kondisi sistem. Selain mengirimkan data monitoring, website juga digunakan untuk mengirimkan nilai TPM target menuju ESP32.

Dengan demikian, penerapan IoT pada sistem ini memiliki dua fungsi utama, yaitu monitoring dan pengaturan parameter. Monitoring digunakan untuk melihat kondisi sisa cairan dan TPM aktual, sedangkan pengaturan digunakan untuk memberikan nilai TPM target yang akan digunakan oleh sistem pengendalian.

2.2.4 Visual Studio Code dan PlatformIO





Gambar 2.2 Visual Studio Code dan Platform IO

Gambar 2.2 merupakan Visual Studio Code (VS Code) source code editor yang digunakan untuk menulis, mengelola, dan mengembangkan program. VS Code dapat digunakan pada berbagai sistem operasi dan memiliki dukungan terhadap berbagai bahasa pemrograman melalui ekstensi. Salah satu kelebihan VS Code adalah adanya sistem ekstensi yang memungkinkan pengguna menambahkan fitur dan perangkat pengembangan sesuai dengan kebutuhan proyek. Visual Studio Code

Dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler, VS Code dapat digunakan bersama PlatformIO IDE sebagai media pengembangan untuk menulis program, melakukan proses kompilasi, mengunggah program ke mikrokontroler, serta melakukan pemantauan data melalui komunikasi serial. PlatformIO IDE menyediakan dukungan terhadap berbagai development board, framework, library, dan toolchain yang digunakan dalam pengembangan sistem tertanam (embedded system). PlatformIO juga menyediakan fitur seperti build, upload, serial monitor, pengelolaan library, dan debugging dalam lingkungan VS Code.

Pada Tugas Akhir ini, Visual Studio Code digunakan sebagai media pemrograman utama untuk mengembangkan program pada ESP32, sedangkan PlatformIO digunakan sebagai media pengembangan yang mendukung proses pembuatan dan pengunggahan program. Program yang dibuat digunakan untuk mengatur seluruh proses kerja sistem, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data,

pengendalian aktuator, komunikasi dengan website, hingga penampilan informasi pada OLED.

Program ESP32 yang dikembangkan melalui VS Code dan PlatformIO digunakan untuk membaca data dari load cell melalui modul HX711. Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh informasi berat dan estimasi sisa volume cairan NaCl 0,9%. Selain itu, program digunakan untuk membaca sinyal dari sensor LM393 sehingga jumlah tetesan cairan dapat dihitung dan dikonversikan menjadi nilai TPM aktual. Selain mengolah data sensor, program pada ESP32 juga digunakan untuk mengendalikan motor servo MG90S. Nilai TPM aktual yang diperoleh dari sensor LM393 dibandingkan dengan TPM target yang diterima melalui website. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, ESP32 memberikan sinyal kendali kepada servo untuk melakukan penyesuaian posisi mekanisme pengatur aliran infus.

VS Code dan PlatformIO juga digunakan untuk melakukan proses kompilasi (build) dan pengunggahan (upload) program ke ESP32. Setelah program berhasil dikompilasi, firmware dapat diunggah ke board ESP32 melalui koneksi USB. PlatformIO menyediakan fitur Project Task yang memungkinkan pengguna melakukan proses build, upload, clean, dan monitor dari VS Code.

2.2.5 Mikrokontroller ESP32



Gambar 2.3 Mikrokontroller ESP32

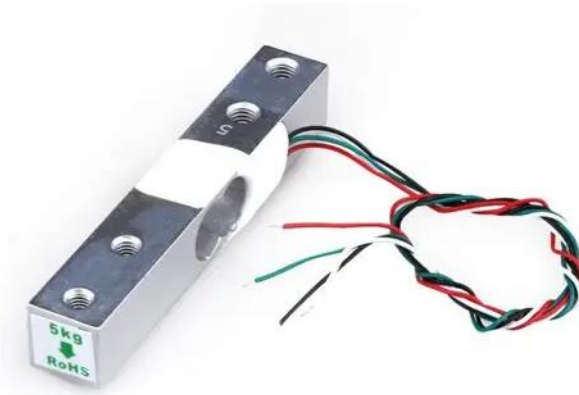
Gambar 2.3 merupakan ESP32 mikrokontroler yang memiliki kemampuan pemrosesan data serta fitur komunikasi nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth. Fitur komunikasi tersebut menjadikan ESP32 sesuai digunakan dalam pengembangan sistem berbasis Internet of Things. Dalam suatu sistem IoT, mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Mikrokontroler menerima masukan dari sensor, melakukan pengolahan berdasarkan program yang telah dibuat, memberikan keluaran kepada aktuator, serta melakukan komunikasi dengan sistem lain melalui jaringan.

Pada Tugas Akhir ini, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama. ESP32 menerima data berat dari load cell melalui modul HX711 dan menerima sinyal dari sensor LM393 untuk mendeteksi tetesan infus. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan informasi sisa cairan dan TPM aktual. ESP32 juga berfungsi sebagai pengendali motor servo MG90S. Setelah memperoleh TPM aktual dari sensor, ESP32 membandingkannya dengan TPM target yang diperoleh dari website. Hasil perbandingan digunakan untuk menentukan perubahan posisi servo.

Selain itu, ESP32 bertugas melakukan komunikasi data dengan website melalui jaringan Wi-Fi. Dengan demikian, ESP32 menjadi penghubung antara sensor, aktuator, dan sistem monitoring berbasis website.

Penggunaan ESP32 dalam sistem monitoring infus telah diterapkan pada penelitian sebelumnya, baik untuk membaca sensor load cell maupun untuk mengirimkan data monitoring melalui jaringan internet. [14]

2.2.6 Sensor Load Cell



Gambar 2.4 Sensor Load Cell

Gambar 2.4 adalah sensor Load Cell yang digunakan untuk mengukur gaya atau beban. Prinsip kerja load cell umumnya memanfaatkan strain gauge, yaitu elemen resistif yang mengalami perubahan nilai resistansi ketika mengalami perubahan bentuk akibat adanya beban. Ketika beban diberikan pada load cell, struktur mekanis sensor mengalami perubahan bentuk yang sangat kecil. Perubahan tersebut menyebabkan perubahan resistansi pada strain gauge. Perubahan resistansi kemudian menghasilkan perubahan sinyal listrik yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya beban.

Pada sistem monitoring infus, load cell dapat ditempatkan pada bagian penyangga wadah infus sehingga berat wadah dan cairan dapat diukur. Ketika cairan infus berkurang, berat total yang diterima load cell juga mengalami penurunan. Pada prototipe ini, load cell digunakan untuk mengukur perubahan berat wadah NaCl 0,9%. Nilai berat yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan estimasi sisa volume cairan dalam satuan mL.

Penggunaan load cell sebagai parameter monitoring cairan infus telah diterapkan pada beberapa penelitian sebelumnya. Maharani dkk. menggunakan load

cell untuk memantau volume infus dan memberikan peringatan ketika volume cairan mencapai batas minimum sekitar 50 mL.[15]

Berdasarkan referensi tersebut, hasil pembacaan load cell pada penelitian ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kondisi. Kondisi MASIH menunjukkan bahwa jumlah cairan infus masih berada pada kondisi yang relatif tinggi sehingga sistem belum memberikan peringatan penggantian. Kondisi SEDANG menunjukkan bahwa berat atau volume cairan telah mengalami penurunan dan mulai mendekati batas minimum, sehingga sistem dapat memberikan informasi atau peringatan kepada pengguna untuk mempersiapkan penggantian cairan. Sementara itu, kondisi HABIS menunjukkan bahwa berat atau volume cairan telah mencapai batas minimum yang ditentukan oleh sistem.

Untuk mempermudah proses klasifikasi, nilai hasil pembacaan load cell dapat dibuat menjadi batas kondisi seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Batas Klasifikasi

Kondisi Infus	Acuan Pembacaan Volume	Keterangan
MASIH	> 300 mL	Cairan masih tersedia dalam jumlah relatif banyak dan belum memasuki batas peringatan
SEDANG	> 50 mL – 300 mL	Cairan mulai berkurang sehingga perlu dilakukan pemantauan
HABIS	$\leq$ 50 mL	Cairan telah mendekati batas minimum dan sistem memberikan peringatan

2.2.7 Modul HX711



Gambar 2.5 Modul HX711

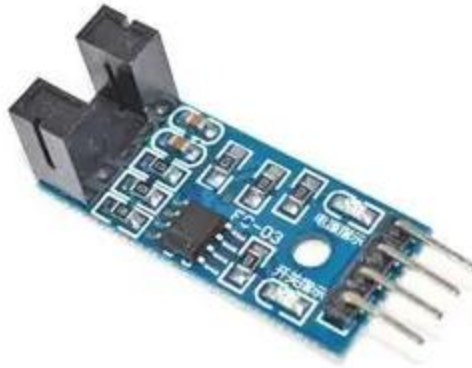
Gambar 2.5 merupakan HX711 yaitu modul penguat sinyal sekaligus konverter analog-ke-digital yang banyak digunakan bersama load cell. Sinyal keluaran load cell memiliki perubahan yang relatif kecil sehingga diperlukan penguatan agar perubahan tersebut dapat dibaca dengan lebih baik oleh mikrokontroler.

HX711 menerima sinyal dari load cell, melakukan penguatan, kemudian mengubahnya menjadi data digital. Data tersebut selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi digital.

Pada Tugas Akhir ini, HX711 berfungsi sebagai antarmuka antara load cell dan ESP32. Load cell mendeteksi perubahan berat wadah infus, kemudian sinyal dari load cell diteruskan ke HX711 untuk diproses menjadi data digital yang dapat dibaca ESP32.

Penggunaan kombinasi load cell dan HX711 untuk monitoring cairan infus telah diterapkan dalam beberapa penelitian. Salah satunya menggunakan load cell dan HX711 untuk mendeteksi ketersediaan cairan infus, dengan data hasil pengukuran selanjutnya diproses dan ditampilkan melalui sistem IoT. [16]

2.2.8 Sensor LM393



Gambar 2.6 Sensor LM393

Gambar 2.6 adalah LM393 yang merupakan komparator tegangan yang banyak digunakan pada berbagai modul sensor untuk menghasilkan keluaran digital berdasarkan kondisi sinyal masukan. Dalam sistem pendeteksi tetesan, modul yang menggunakan komparator LM393 dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan kondisi cahaya ketika tetesan cairan melewati area sensor.

Pada sistem infus, sensor ditempatkan pada bagian drip chamber. Ketika tetesan cairan melewati area pendeteksian, terjadi perubahan kondisi yang dapat dikenali oleh sensor. Perubahan tersebut kemudian menghasilkan pulsa atau perubahan logika yang dibaca oleh ESP32.

Pada prototipe ini, sensor LM393 digunakan secara khusus untuk mendeteksi tetesan cairan NaCl 0,9%. Setiap tetesan yang berhasil dideteksi akan dihitung oleh ESP32. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk memperoleh TPM aktual. Dengan demikian, sensor LM393 pada Tugas Akhir ini memiliki fungsi yang berbeda dari load cell. Load cell digunakan untuk mengetahui sisa cairan, sedangkan LM393 digunakan untuk mengetahui laju tetesan.

2.2.9 Motor Servo MG90s



Gambar 2.7 Motor Servo MG90S

Motor servo pada Gambar 2.7 merupakan aktuator yang digunakan untuk mengatur posisi sudut berdasarkan sinyal kendali. Berbeda dengan motor DC biasa yang umumnya berputar secara kontinu, servo dapat diarahkan menuju posisi sudut tertentu sesuai dengan sinyal PWM yang diberikan.

Pada sistem ini, motor servo MG90S digunakan sebagai aktuator mekanis untuk mengatur laju tetesan infus. Servo dihubungkan dengan mekanisme penjepit atau pengatur aliran pada selang infus. Perubahan posisi servo menyebabkan perubahan tekanan atau bukaan pada selang sehingga dapat memengaruhi laju keluarnya cairan.

Pengendalian servo dilakukan berdasarkan kondisi TPM aktual terhadap TPM target. Apabila nilai TPM aktual berada di bawah target, servo dapat melakukan penyesuaian agar laju tetesan meningkat. Sebaliknya, apabila TPM aktual berada di atas target, servo melakukan penyesuaian untuk mengurangi laju tetesan.

Penggunaan servo sebagai aktuator pada sistem infus telah digunakan dalam penelitian smart infusion, di mana servo digunakan sebagai bagian mekanik untuk mengatur kecepatan aliran cairan infus.

Dalam penelitian lain, servo juga digunakan sebagai aktuator untuk melakukan penutupan jalur cairan secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keberhasilan gerakan servo sangat dipengaruhi oleh ketepatan sudut dan mekanisme penjepitan selang.

2.2.10 OLED



Gambar 2.8 OLED

Liquid Crystal Display (OLED) pada Gambar 2.8 merupakan perangkat keluaran yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk karakter. OLED dapat digunakan sebagai antarmuka lokal antara sistem dengan pengguna.

Pada Tugas Akhir ini, OLED digunakan untuk memberikan informasi mengenai kondisi sistem secara langsung pada perangkat. Informasi yang ditampilkan dapat berupa kategori pasien, sisa cairan infus, TPM aktual, TPM target, dan informasi lain yang diperlukan dalam proses pengoperasian alat. Keberadaan OLED memberikan keuntungan karena pengguna dapat melihat informasi sistem secara langsung tanpa harus selalu mengakses website.

OLED juga dapat digunakan sebagai media verifikasi ketika melakukan pengujian. Nilai yang ditampilkan pada OLED dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur atau perhitungan manual. Penelitian sistem monitoring infus sebelumnya juga menggunakan OLED sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor.

2.2.11 Push Button



Gambar 2.9 Push Button

Push button pada Gambar 2.9 merupakan komponen input yang digunakan untuk memberikan perintah kepada mikrokontroler melalui tindakan penekanan tombol. Pada sistem berbasis mikrokontroler, push button umumnya digunakan sebagai masukan digital yang memiliki dua kondisi logika, yaitu HIGH dan LOW. Perubahan kondisi tersebut dibaca oleh mikrokontroler untuk menjalankan suatu fungsi tertentu sesuai dengan program yang telah dibuat.

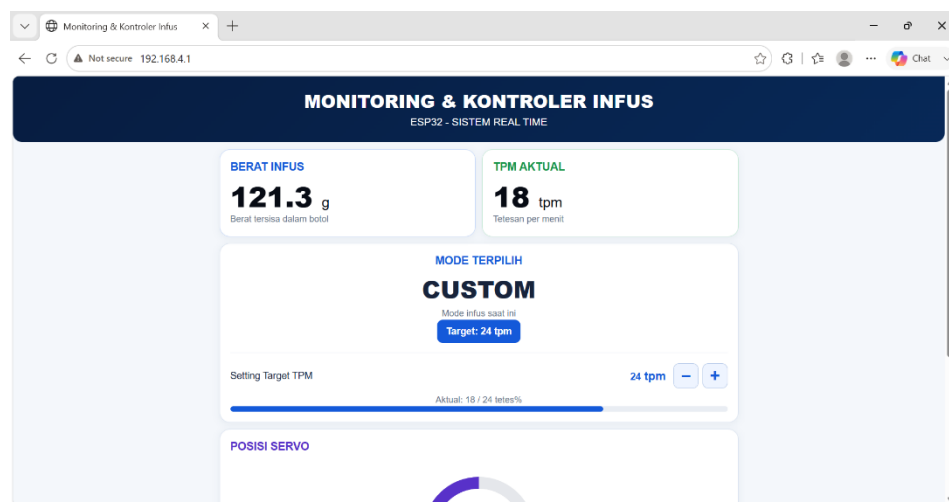
Pada penerapannya, push button dapat digunakan sebagai perangkat kendali manual untuk memilih menu, mengubah kondisi sistem, maupun memberikan perintah kepada aktuator. Pada sistem yang menggunakan ESP32, push button dapat dihubungkan ke salah satu GPIO yang dikonfigurasi sebagai input. Ketika tombol ditekan, kondisi logika pada pin input akan berubah dan ESP32 akan memproses perubahan tersebut sesuai dengan algoritma yang telah diprogram. Penggunaan push button sebagai input pada ESP32 juga diterapkan pada penelitian sistem kendali berbasis IoT, di mana push button digunakan sebagai pengendali manual selain kendali melalui perangkat lain.

Pada Tugas Akhir ini, push button digunakan sebagai antarmuka pengoperasian lokal pada alat. Terdapat dua tombol, yaitu CURSOR dan ENTER. Tombol CURSOR digunakan untuk berpindah atau memilih pilihan yang tersedia pada menu OLED, sedangkan tombol ENTER digunakan untuk mengonfirmasi pilihan. Push button

tersebut memungkinkan pengguna melakukan pemilihan mode Ginjal, Dewasa, Kecil, dan Custom, serta mengakses menu kalibrasi load cell secara langsung pada perangkat.

Penggunaan push button pada sistem juga memungkinkan pengoperasian alat tetap dilakukan melalui antarmuka lokal tanpa bergantung sepenuhnya pada website. Dengan demikian, push button berfungsi sebagai media input yang menghubungkan pengguna dengan sistem pengendalian yang diproses oleh ESP32.

2.2.12 Website



Gambar 2.10 Website Monitoring

Gambar 2.10 merupakan media Website Monitoring yang dapat digunakan untuk menyajikan informasi dan menyediakan fungsi interaksi antara pengguna dengan suatu sistem. Dalam penerapan Internet of Things (IoT), website dapat digunakan sebagai antarmuka untuk menampilkan data yang diperoleh dari perangkat keras secara langsung melalui jaringan. Data dari sensor yang telah diproses oleh mikrokontroler dapat dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju web server dan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk informasi pada halaman website.

Website pada sistem IoT dapat digunakan tidak hanya sebagai media monitoring, tetapi juga sebagai media pengendalian dan pengaturan parameter sistem. Mikrokontroler yang memiliki konektivitas jaringan, seperti ESP32, dapat berkomunikasi dengan website melalui web server. Data sensor dapat dikirimkan dari

perangkat menuju server atau website, sedangkan perintah dari pengguna dapat dikirimkan kembali menuju mikrokontroler. Penelitian mengenai sistem monitoring berbasis ESP32 menunjukkan bahwa data sensor dapat dikirim melalui jaringan dan ditampilkan pada website secara real-time sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari perangkat yang terhubung. j

Pada sistem yang dirancang dalam Tugas Akhir ini, website digunakan sebagai antarmuka monitoring dan pengaturan sistem infus. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data sekaligus WebServer yang menyediakan endpoint untuk pertukaran data dengan website. Data hasil pembacaan sensor yang telah diproses oleh ESP32 dapat ditampilkan pada website dalam bentuk informasi seperti volume cairan infus, TPM aktual, TPM target, mode pengoperasian, posisi servo, dan kondisi infus.

Website juga menyediakan fasilitas untuk melakukan pengaturan nilai TPM target. Nilai yang dimasukkan melalui website dikirimkan kepada ESP32 dan digunakan sebagai parameter target pada sistem. Dengan demikian, website tidak hanya berfungsi untuk menampilkan data, tetapi juga menjadi media komunikasi dua arah antara pengguna dan perangkat.

Dalam implementasinya, antarmuka website dapat dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. HTML digunakan untuk membentuk struktur halaman, CSS digunakan untuk mengatur tampilan antarmuka, sedangkan JavaScript digunakan untuk mengolah data serta melakukan komunikasi dengan ESP32 melalui endpoint yang telah disediakan. Konsep penggunaan website sebagai antarmuka monitoring pada sistem berbasis ESP32 juga telah diterapkan pada berbagai penelitian IoT.

2.2.13 Google SpreadSheet



Gambar 2.11 Google SpreadSheet

Google Spreadsheet merupakan aplikasi pengolah data berbasis cloud yang dapat digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menyajikan data dalam bentuk tabel secara daring. Penggunaan Google Spreadsheet pada sistem Internet of Things memungkinkan data hasil pembacaan sensor disimpan secara otomatis sehingga dapat digunakan sebagai data historis untuk proses pemantauan, pengujian, dan analisis.

Pada sistem IoT, mikrokontroler yang telah terhubung dengan jaringan internet dapat mengirimkan data hasil pembacaan sensor menuju Google Spreadsheet melalui layanan perantara seperti Google Apps Script. Data yang dikirim dapat berupa nilai sensor, waktu pengambilan data, maupun parameter lain yang diperlukan. Setelah data diterima, Google Spreadsheet dapat menyimpan setiap data dalam baris dan kolom sehingga data monitoring tersusun secara sistematis.

Penelitian mengenai sistem akuisisi data menggunakan ESP32 dan Google Spreadsheet menunjukkan bahwa ESP32 dapat digunakan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke Google Spreadsheet melalui koneksi internet. Pada penelitian tersebut, Google Spreadsheet digunakan sebagai media logging data sehingga hasil pengukuran dapat disimpan dan diakses kembali untuk keperluan analisis.

Pada Tugas Akhir ini, Google Spreadsheet digunakan sebagai media pencatatan dan penyimpanan data hasil monitoring infus. Data yang telah diproses oleh ESP32

dikirimkan secara berkala melalui koneksi Wi-Fi menuju Google Spreadsheet. Data yang disimpan dapat digunakan untuk mendokumentasikan hasil pengukuran selama proses pengujian alat, seperti volume cairan infus, TPM aktual, TPM target, mode pengoperasian, serta parameter monitoring lainnya sesuai dengan data yang dikirim oleh sistem.

Penggunaan Google Spreadsheet memberikan kemudahan dalam proses dokumentasi karena data dapat tersusun dalam bentuk tabel dan dapat digunakan kembali pada tahap pengolahan data. Data yang tersimpan juga dapat menjadi dasar dalam pembuatan tabel, grafik, maupun analisis hasil pengujian pada tahap pembahasan Tugas Akhir.

Dengan demikian, Google Spreadsheet pada sistem ini tidak berfungsi sebagai pengendali utama alat, tetapi sebagai media penyimpanan dan dokumentasi data monitoring. ESP32 bertugas membaca dan mengolah data, kemudian mengirimkan data tersebut melalui jaringan Wi-Fi sehingga dapat dicatat secara otomatis pada Google Spreadsheet.