

PROTOTYPE OF AN IoT-BASED STANDBY SUPPORT FIRE PUMP AUTOMATION SYSTEM FOR A FILLING SHED RAIL TANK WAGON

Ivan Dhimas Agitya^{a,1,*}, Sa'adilah Rosyadi, S.Pd., M.Pd.^{b,2}

^a Departement of Electrical and Electronic Engineering, Vocational Faculty, UNY

^b Second Author Affiliation

¹ ivandhimas.2021@student.uny.ac.id; ² s.rosyadi@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 26 November 2025

Revised 21 December 2025

Accepted 7 January 2026

Keywords

Fire pump;

IoT;

ESP32;

Sensor aliran;

Blynk.

ABSTRACT

This research aims to (1) design and develop a prototype of an automated standby support fire pump system based on the Internet of Things (IoT) for the filling shed rail tank wagon facility, (2) test the functionality of each component to enable real-time monitoring and control of the pumps, and (3) evaluate the system's performance in terms of accuracy, response speed, and operational reliability. The research method used is Research and Development (R&D), consisting of stages such as needs analysis, hardware and software design, prototype construction, and functional as well as performance testing. The system integrates a YF-S201 water flow sensor, ACS712 current sensor, ESP32 microcontroller, 2-channel relay, 20x4 I2C LCD, and the Blynk platform for remote monitoring and control. System performance testing was conducted 15 times under various water flow conditions to assess sensor accuracy and system response speed. The results showed that the system was able to display real-time water discharge data with an average accuracy of 97.2% and an automatic response time of 1.3 seconds for the backup pump when the main flow dropped below 8 L/min. Thus, this IoT-based standby support fire pump automation system prototype has the potential to be implemented as a model for an automatic fire protection system in high-risk industrial environments, to improve reliability and fire preparedness.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) merancang dan membangun prototipe sistem otomasi standby support fire pump berbasis Internet of Things (IoT) pada sarana filling shed rail tank wagon, (2) menguji fungsi komponen sistem agar mampu melakukan monitoring dan kontrol pompa secara real-time, serta (3) menilai kinerja sistem berdasarkan akurasi, kecepatan respons, dan keandalan operasi. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan lunak, pembuatan prototipe, serta pengujian fungsional dan kinerja. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor aliran air YF-S201, sensor arus ACS712, mikrokontroler ESP32, relay 2-channel, LCD I2C 20x4, dan platform Blynk untuk monitoring dan kontrol jarak jauh. Pengujian kinerja sistem dilakukan sebanyak 15 kali pada berbagai kondisi aliran air untuk menilai akurasi sensor dan kecepatan respon sistem. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data debit air secara real-time dengan akurasi rata-

rata 97,2% dan waktu respon otomatis pompa cadangan 1,3 detik saat aliran utama turun di bawah 8 L/menit. Dengan demikian, prototipe sistem otomasi standby support fire pump berbasis IoT ini berpotensi diterapkan sebagai model sistem proteksi kebakaran otomatis di lingkungan industri berisiko tinggi, guna meningkatkan keandalan dan kesiapsiagaan terhadap kebakaran.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Sistem pemadam kebakaran merupakan elemen krusial dalam menjaga keselamatan jiwa dan aset di berbagai sektor, terutama di lingkungan industri yang memiliki potensi bahaya tinggi. Berdasarkan data National Fire Protection Association (NFPA), sekitar 37% kebakaran besar di fasilitas industri terjadi akibat keterlambatan dalam respons awal dan kurangnya tekanan air yang memadai dalam sistem pemadam [1]. Oleh karena itu, sistem proteksi kebakaran yang andal dan efisien sangat dibutuhkan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan oleh kebakaran.

Salah satu sektor industri yang memiliki risiko tinggi terhadap kebakaran adalah fasilitas pengisian bahan bakar, seperti filling shed rail tank wagon di PT Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Rewulu. Di lokasi ini, terdapat sistem hydrant sebagai bagian dari sistem pemadam kebakaran yang bergantung pada aliran air yang stabil dan kuat [2]. Salah satu komponen penting dalam sistem ini adalah standby support fire pump, yang berfungsi memastikan suplai tekanan air tetap optimal ketika terjadi kebakaran atau tekanan utama menurun.

Namun, hasil observasi di lapangan menunjukkan bahwa sistem yang ada masih memiliki beberapa kendala signifikan. Pengoperasian pompa, baik pompa utama maupun pompa support hydrant, masih dilakukan secara manual, yang menyebabkan ketergantungan pada tenaga operator. Kondisi ini dapat menyebabkan keterlambatan dalam merespons situasi darurat. Selain itu, tekanan air dalam pipa hydrant sering kali tidak stabil, terutama ketika area yang terdampak berada di lokasi yang jauh atau ketika terjadi kebocoran pada jaringan pipa [3].

Monitoring aliran air pun masih dilakukan secara manual, sehingga tidak memungkinkan pemantauan aliran secara real-time dari jarak jauh. Padahal, Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Tahun 2019 tentang proteksi kebakaran mengharuskan adanya sistem yang mampu beroperasi secara efisien dan tidak bergantung penuh pada manusia dalam kondisi darurat [4].

Dalam konteks tersebut, pengembangan sistem otomasi standby support fire pump berbasis Internet of Things (IoT) menjadi alternatif solusi yang menjanjikan. IoT memungkinkan sistem bekerja secara otomatis berdasarkan perubahan debit pada aliran air, serta memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh secara real-time. Studi oleh A. Smith (2021) menunjukkan bahwa integrasi IoT dalam sistem pemadam kebakaran mampu meningkatkan respons hingga 42% lebih cepat dibanding sistem manual. Selain itu, sistem otomatis berbasis IoT dapat menjaga tekanan pada aliran air tetap stabil dan mengurangi kesalahan manusia dalam pengoperasian fire pump [5].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan mengembangkan prototipe sistem otomasi standby support fire pump berbasis IoT pada fasilitas filling shed rail tank wagon. Sistem ini diharapkan mampu menjaga kestabilan debit pada aliran air, meminimalkan intervensi manual, serta menyediakan data pada aliran air secara real-time melalui jaringan internet. Dengan demikian, efisiensi dan efektivitas sistem pemadam kebakaran akan meningkat secara signifikan, serta memberikan kontribusi dalam meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan industri berisiko tinggi.

Berdasarkan penelitian terdahulu mengenai sistem otomatisasi fire pump berbasis IoT, sebagian besar masih berfokus pada pemantauan tekanan atau pengendalian pompa tunggal tanpa sistem pendukung otomatis. Namun, perbedaan penelitian ini terletak pada pengembangan prototipe sistem

otomasi standby support fire pump yang memanfaatkan sensor aliran air dan sensor arus untuk mendeteksi kondisi aliran serta status pompa utama secara real-time. Berbekal gagasan dan temuan dari penelitian sebelumnya, penulis kemudian mengembangkan dan memodifikasi sistem menjadi satu kesatuan utuh yang mampu melakukan pemantauan, kontrol otomatis, dan pengalihan operasi pompa cadangan berbasis Internet of Things (IoT).

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

2.1 Sistem Proteksi Kebakaran

Sistem proteksi kebakaran adalah rangkaian peralatan dan mekanisme yang dirancang untuk mendeteksi, mengendalikan, dan memadamkan kebakaran guna melindungi jiwa, properti, serta kesinambungan operasional fasilitas [6]. Sistem proteksi kebakaran yang andal harus termasuk konfigurasi pompa ganda (dual-pump), yaitu pompa utama (main fire pump) dan pompa cadangan (standby fire pump), untuk memastikan kontinuitas pasokan air bertekanan saat terjadi kegagalan salah satu pompa [7].

Menurut standar internasional NFPA 20, pompa pemadam kebakaran harus dipasang sedemikian rupa agar dapat dioperasikan secara andal dan segera ketika tekanan sistem turun, dan keandalan sumber daya listrik untuk pompa harus dijamin untuk menghindari kegagalan saat darurat [1]. Standar SNI 03-6570-2001 (Instalasi Pompa Tetap untuk Proteksi Kebakaran) sebagai acuan di Indonesia juga mewajibkan instalasi pompa kebakaran permanen yang memenuhi persyaratan teknis, termasuk pasokan daya, konfigurasi hisap dan pelepasan, serta sistem kontrol, untuk menjamin kinerja pompa saat kondisi darurat [8].

Pompa cadangan (standby pump) akan aktif secara otomatis untuk mempertahankan tekanan air sesuai standar proteksi kebakaran. Setiap instalasi pompa kebakaran harus memiliki pompa utama dan pompa cadangan guna memastikan keandalan sistem dalam kondisi darurat [1].

2.2 Prinsip Skalabilitas Prototipe Terhadap Sistem Proteksi Kebakaran

Prototipe yang dirancang merepresentasikan sistem proteksi kebakaran nyata yang sesuai dengan standar SNI 03-1735-2000 [9], di mana sistem hydrant luar mensyaratkan debit minimum sebesar 2400 liter per menit (atau 40 liter per detik). Namun, karena keterbatasan alat dan ruang uji, prototipe hanya dirancang untuk menangani debit maksimal sekitar 30 liter per menit dengan memanfaatkan sensor flow YF-S201 [10]. Perbandingan debit antara sistem nyata dan prototipe tersebut kurang lebih berada pada skala 1:80. Meskipun terdapat perbedaan skala, sistem ini tetap dirancang untuk meniru mekanisme kontrol pompa cadangan secara otomatis saat aliran utama melemah, sebagaimana terjadi dalam sistem proteksi kebakaran aktual [11].

Pendekatan skala ini diperkuat oleh studi yang dilakukan dalam International Journal of Impact Engineering, yang membuktikan bahwa model berskala kecil hingga 1:80 tetap mampu merepresentasikan perilaku sistem asli secara valid apabila dilakukan penyesuaian terhadap parameter tertentu seperti kekuatan material atau input energi [12]. Dalam penelitian tersebut, prototipe berskala 1:80 dapat menghasilkan respons struktural yang setara dengan sistem nyata melalui koreksi tertentu, tanpa kehilangan keabsahan fungsi utamanya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berskala kecil tidak hanya relevan, tetapi juga sah digunakan sebagai platform pengujian fungsi dan kontrol dari sistem berskala besar [12].

2.3 Filling Shed Rail Tank Wagon pada Fuel Terminal Rewulu

Filling shed Rail Tank Wagon (RTW) merupakan fasilitas utama pada terminal bahan bakar minyak (BBM) yang berfungsi sebagai tempat pemindahan produk dari tangki timbun (storage tank) menuju gerbong tangki kereta api. Proses ini dilakukan melalui pipa distribusi yang dilengkapi dengan loading arm atau selang khusus, sehingga memungkinkan pengisian BBM dalam jumlah besar secara cepat dan efisien. Filling shed dirancang dengan memperhatikan aspek keselamatan, di antaranya penggunaan sistem grounding untuk mencegah listrik statis, pemasangan katup pengaman (safety valve), serta integrasi sistem proteksi kebakaran berbasis hydrant dan pompa otomatis [2]. Hal ini sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh National Fire Protection Association (NFPA), bahwa fasilitas pengisian BBM dikategorikan sebagai area berisiko tinggi dan wajib

dilengkapi dengan sistem deteksi serta proteksi kebakaran [13].



Fig. 1. Area Filling Shed Rail Tank Wagon Fuel Terminal Rewulu

2.4 Pompa Pemadam Kebakaran

Berdasarkan standar NFPA 20 (Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection), terdapat beberapa jenis pompa pemadam kebakaran dalam sistem hydrant, masing-masing memiliki fungsi berbeda [1]:

- Jockey Pump, Pompa kecil yang berfungsi menjaga tekanan sistem agar tetap stabil. Pompa ini bekerja secara otomatis saat terjadi penurunan tekanan kecil yang bukan disebabkan oleh kebakaran, misalnya karena kebocoran pipa minor. Jockey pump membantu mencegah duty pump hidup secara tidak perlu.
- Duty Pump (Main Fire Pump), Pompa utama yang bekerja saat terjadi kebakaran dan tekanan sistem turun drastis. Duty pump memiliki kapasitas besar dan menjadi andalan utama dalam menyalurkan air ke seluruh sistem pemadam kebakaran. Pompa ini umumnya digerakkan oleh motor listrik dan dikendalikan secara otomatis menggunakan pressure switch.
- Standby Pump, standby pump merupakan pompa cadangan yang akan aktif jika duty pump mengalami kegagalan, baik karena gangguan daya, kerusakan mekanis, atau overload.

Umumnya, standby pump menggunakan mesin diesel sehingga dapat tetap bekerja meski terjadi pemadaman listrik. Standby pump sangat penting untuk redundansi sistem agar proteksi kebakaran tetap terjaga meskipun terjadi kerusakan pada pompa utama.



Fig. 2. Pompa Pemadam Kebakaran Fuel Terminal Rewulu

2.5 Sensor Aliran Air (Flow sensor) YF-S201

Sensor aliran air (flow sensor) merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi laju aliran (flowrate) dari fluida (dalam hal ini air) yang mengalir melalui sebuah saluran atau pipa. Sensor ini umumnya digunakan dalam berbagai sistem yang membutuhkan pemantauan volume dan kecepatan

aliran air, seperti sistem irigasi otomatis, mesin pencuci otomatis, sistem HVAC, dan sistem proteksi kebakaran berbasis air [14].

Sensor aliran YF-S201 merupakan jenis sensor mekanikal berbasis efek Hall (Hall Effect Sensor). Di dalam sensor terdapat rotor baling-baling kecil (turbine/propeller), magnet kecil pada rotor, dan sensor efek Hall (Hall-effect sensor). Ketika air mengalir melalui sensor, rotor akan berputar. Setiap putaran menghasilkan denyutan sinyal (pulse) akibat perubahan medan magnet yang terdeteksi oleh sensor efek Hall [14].

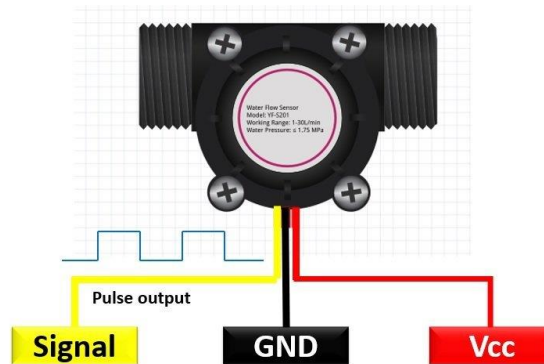


Fig. 3. Sensor Flow YF-201

2.6 Sensor Arus ACS712

Sensor arus berfungsi untuk mengukur apakah suatu perangkat listrik, seperti pompa, sedang menyala atau mati dengan melihat besarnya arus yang mengalir. Dalam sistem proteksi kebakaran, pemantauan arus sangat penting untuk mengetahui kondisi pompa utama, apakah masih bekerja normal atau mengalami gangguan. Salah satu sensor yang sering dipakai adalah ACS712, yang bisa mengukur arus AC maupun DC menggunakan efek Hall. Saat arus mengalir, sensor ini mendeteksi medan magnet yang dihasilkan, lalu mengubahnya menjadi tegangan analog. Output-nya berkisar antara 0–5 V. ACS712 tersedia dalam beberapa tipe, seperti ± 5 A, ± 20 A, dan ± 30 A [15].

2.7 Mikrokontroler NodeMCU ESP32

Mikrokontroler NodeMCU ESP32, yang dikembangkan oleh Espressif Systems, merupakan versi lanjutan dari ESP8266 dengan spesifikasi yang jauh lebih lengkap. Karena kelengkapan fitur tersebut, ESP32 sangat cocok digunakan dalam berbagai aplikasi, khususnya yang berkaitan dengan Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini mendukung komunikasi nirkabel melalui Wi-Fi, Bluetooth, dan BLE (Bluetooth Low Energy) [16]. Dalam konteks sistem proteksi kebakaran, ESP32 berperan penting dalam memonitor sensor aliran dan sensor arus, serta mengendalikan pompa secara otomatis, sekaligus mengirimkan data dan status sistem ke aplikasi Blynk untuk pemantauan secara jarak jauh dan real-time.

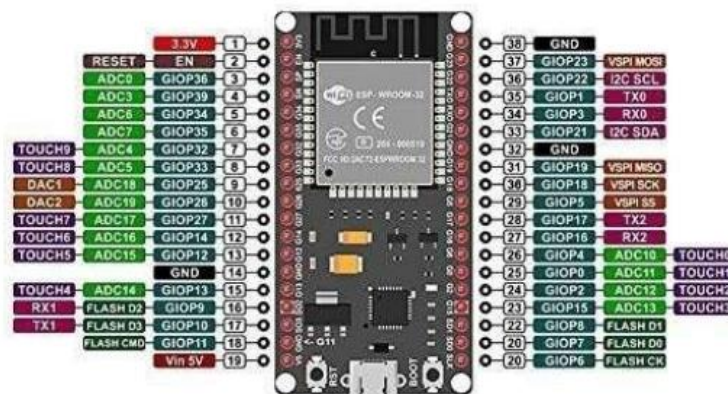


Fig. 4. NodeMCU ESP32

2.8 Blynk

Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) yang digunakan dalam proyek ini sebagai media utama untuk monitoring dan kontrol sistem fire pump secara real-time melalui jaringan internet. Dalam konteks alat ini, Blynk berfungsi untuk menampilkan data sensor aliran (flow sensor) dan sensor arus, serta memberikan akses bagi pengguna untuk mengontrol pompa cadangan (pompa 2 dan 3) dari jarak jauh [17]. Platform ini mendukung komunikasi dua arah antara ESP32 sebagai mikrokontroler utama dengan aplikasi Blynk melalui layanan Blynk Cloud, sehingga memungkinkan sistem merespons perintah pengguna dan mengirimkan pembaruan data secara terus-menerus.

2.9 LCD I2C 20x4

LCD (Liquid Crystal Display) adalah komponen yang berfungsi sebagai media tampilan visual, dengan memanfaatkan kristal cair sebagai elemen utama untuk membentuk karakter atau gambar. Tampilan pada LCD terbentuk dari kumpulan piksel yang diatur dalam matriks, di mana cahaya dari lampu latar fluoresen akan diteruskan atau diblokir tergantung pada posisi molekul kristal cair. Ketika arus listrik mengalir melalui elektroda, medan listrik yang terbentuk akan mengubah orientasi kristal cair, sehingga hanya warna atau karakter tertentu yang muncul pada layar [18]. Dalam konteks alat ini, LCD I2C 20x4 digunakan untuk menampilkan informasi secara lokal, seperti status sensor aliran, kondisi pompa utama dan pompa cadangan, serta mode sistem (manual/otomatis).

2.10 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan dan memprogram mikrokontroler, seperti ESP32, dengan cara yang lebih sederhana. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat melakukan penulisan kode, kompilasi, unggah program ke perangkat, serta melakukan debugging melalui serial monitor [19]. Dalam proyek prototipe sistem otomatisasi standby support fire pump, Arduino IDE menjadi platform utama dalam proses pengembangan sistem, termasuk pemrograman untuk membaca data dari sensor aliran (flow sensor YF-S201), sensor arus (ACS712), serta mengendalikan pompa cadangan secara otomatis atau manual berdasarkan aliran air yang terdeteksi.

2.11 Monitoring dan Kontrol

Dalam sistem otomatisasi standby support fire pump, proses monitoring dan kontrol berperan penting untuk menjaga keandalan operasional sistem, serta mendeteksi dan merespons kegagalan pada pompa utama secara cepat. Monitoring merupakan proses pengumpulan dan pengamatan data secara kontinu untuk mengevaluasi performa sistem dan mengidentifikasi adanya kondisi tidak normal [10].

Sementara itu, kontrol dalam konteks sistem ini dapat diartikan sebagai proses pengambilan keputusan otomatis maupun manual untuk mengatur perangkat aktuator, dalam hal ini adalah pompa cadangan. Kontrol merupakan suatu proses yang dilakukan untuk menjaga sistem tetap berada pada kondisi yang diinginkan dengan cara memberikan aksi terhadap perangkat berdasarkan hasil pemantauan. Dengan demikian, kontrol merupakan respons dari sistem terhadap hasil monitoring yang dianalisis oleh mikrokontroler [20].

3. Perancangan Alat

Metode penelitian yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah metode Research and Development (R&D) dengan teknik analisis data kuantitatif. Tahapan serta konsep perancangan prototipe sistem otomasi standby support fire pump pada rail tank wagon Fuel Terminal Rewulu dijabarkan dalam bentuk diagram alir (flowchart), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar berikut:

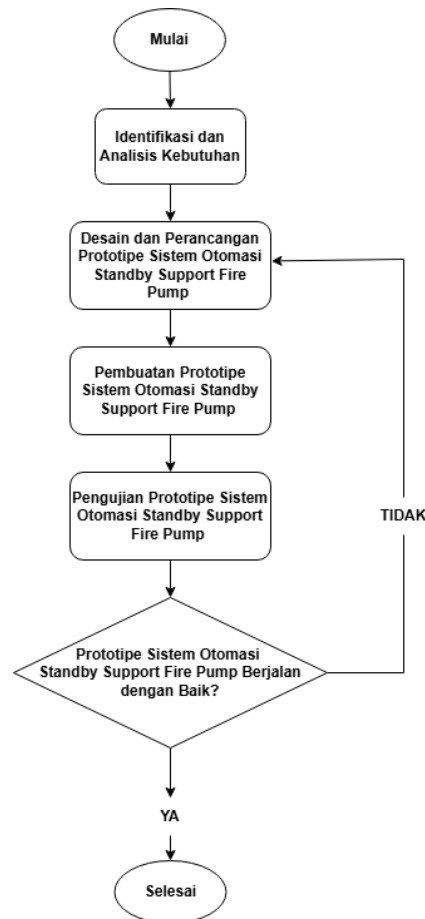


Fig. 5. Flowchart Penelitian

Flowchart tersebut menggambarkan tahapan pengembangan prototipe Sistem Otomasi Standby Support Fire Pump yang dimulai dari proses identifikasi dan analisis kebutuhan untuk menentukan spesifikasi fungsional sistem, kemudian dilanjutkan dengan tahap perancangan dan pembuatan prototipe berdasarkan hasil analisis tersebut. Setelah prototipe selesai dirakit, sistem diuji untuk menilai apakah seluruh fungsi telah berjalan sesuai kriteria yang ditetapkan. Jika hasil pengujian belum memenuhi standar, proses kembali pada tahap perancangan untuk dilakukan perbaikan; sedangkan jika prototipe dinyatakan berfungsi dengan baik, maka rangkaian pengembangan dinyatakan selesai.

3.1 Diagram Alir Sistem

Tahap awal dalam proses perancangan sistem diawali dengan penyusunan alur kerja perangkat secara menyeluruh. Langkah ini dilakukan dengan menyusun flowchart sistem. Flowchart digunakan untuk menggambarkan tahapan logika operasional sistem, mulai dari inialisasi, pembacaan sensor, proses pengambilan keputusan, hingga pengiriman data dan perintah melalui platform Blynk. Terdapat 2 flowchart untuk menggambarkan monitoring dan kontrol pada sistem.

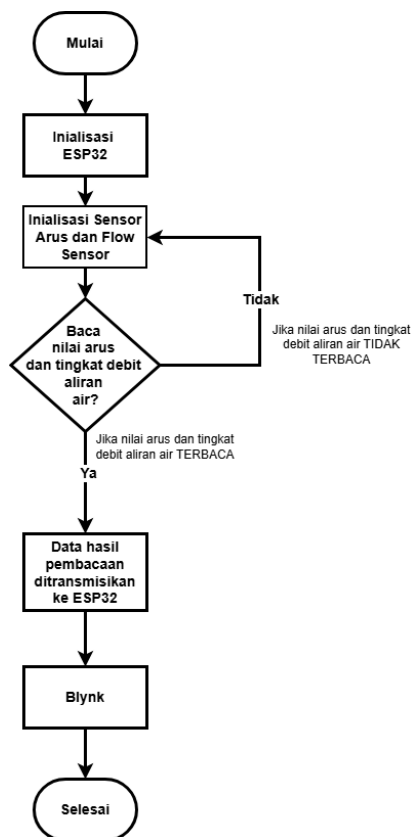


Fig. 6. Flowchart Sistem Monitoring

Langkah awal monitoring dimulai dari inialisasi sensor dan koneksi internet pada ESP32. Setelah itu, sistem masuk ke dalam loop pembacaan data sensor dan melakukan konversi nilai pulsa menjadi liter per menit (LPM) dan volume. Data yang sudah dikonversi akan ditampilkan ke Blynk setiap beberapa detik. Monitoring ini bertujuan untuk memberikan informasi menyeluruh mengenai kondisi debit air pada sistem hydrant, yang menjadi indikator penting dalam proses pendeteksian awal kebakaran.

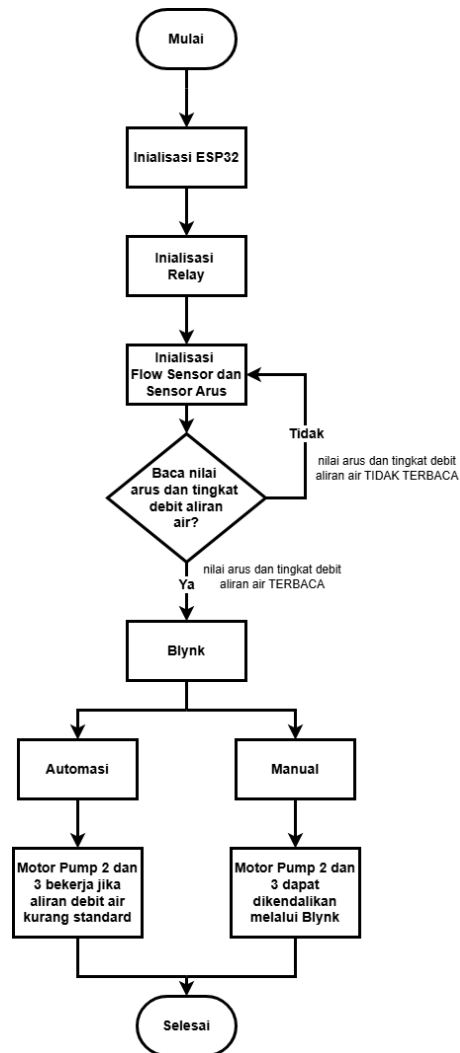


Fig. 7. Flowchart Sistem Kontrol

Flowchart kontroling tersebut menggambarkan alur pengambilan keputusan sistem dalam mengelola aktivasi pompa cadangan secara otomatis berdasarkan kondisi pompa utama dan debit air yang terukur. Ketika arus listrik pada pompa utama terdeteksi dan sensor YF-S201 menunjukkan adanya aliran, sistem beralih ke mode otomatis, lalu ESP32 mengategorikan debit untuk menentukan respons: debit sangat rendah memicu aktivasi Pompa 2 dan Pompa 3, debit rendah hanya mengaktifkan Pompa 2, sedangkan debit normal membuat pompa cadangan tetap tidak aktif. Jika arus pompa utama tidak terdeteksi, sistem kembali ke mode manual untuk mencegah kesalahan operasi, sehingga seluruh kontrol pompa cadangan sepenuhnya dilakukan melalui perintah pengguna pada aplikasi Blynk.

3.2 Desain Hardware

Tahap selanjutnya dalam proses perancangan sistem adalah membuat desain dan konstruksi perangkat keras. Pada tahap ini, fokus utama terbagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan aspek elektrik yang meliputi rangkaian dan sambungan antar komponen, serta perancangan aspek mekanikal yang berkaitan dengan penataan posisi komponen dan konfigurasi fisik perangkat secara menyeluruh.

3.2.1 Elektrikal

Rancangan ini bertujuan untuk memastikan integrasi yang tepat antara seluruh komponen elektronik agar sistem dapat beroperasi secara optimal, mulai dari akuisisi data oleh sensor arus dan sensor aliran, pemrosesan data oleh mikrokontroler, hingga pengendalian pompa dan penyampaian informasi kepada pengguna melalui display I2C serta aplikasi Blynk.

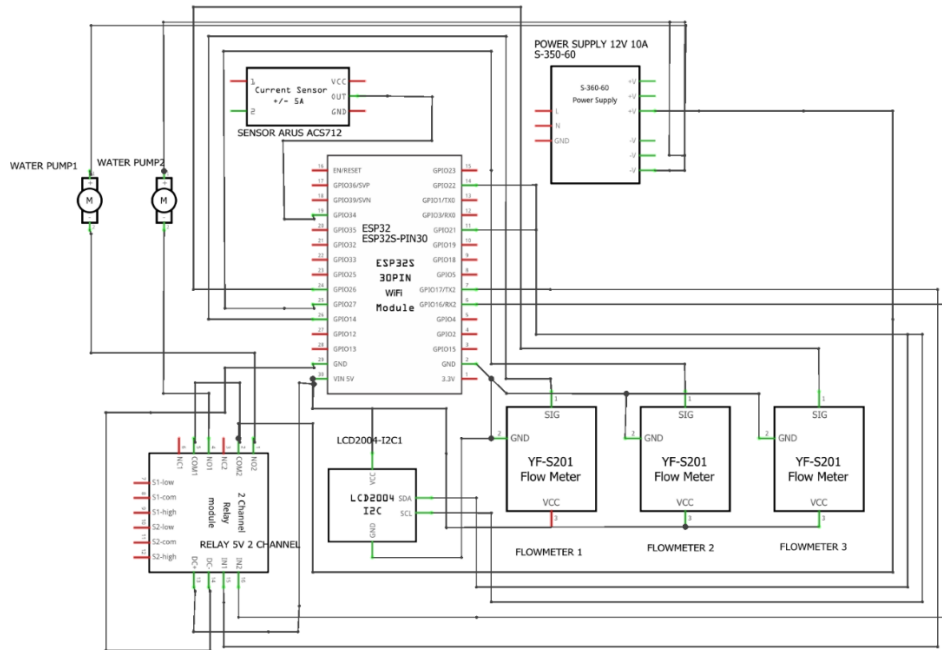


Fig. 8. Wiring Diagram

Wiring diagram pada proyek tugas akhir ini menjelaskan bagaimana setiap komponen utama dalam sistem prototipe otomasi standby support fire pump saling terhubung untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal. Diagram ini menunjukkan hubungan antar komponen seperti sensor arus, sensor aliran, ESP32, relay, I2C display, dan konektivitas WiFi yang mendukung integrasi sistem dengan aplikasi Blynk.

3.2.2 Mekanikal

Desain mekanikal merupakan bagian penting dalam pengembangan sistem prototipe otomasi standby support fire pump, karena berperan sebagai penopang dan pelindung bagi seluruh rangkaian elektronik agar tetap tertata dengan rapi, aman, dan mudah diakses.

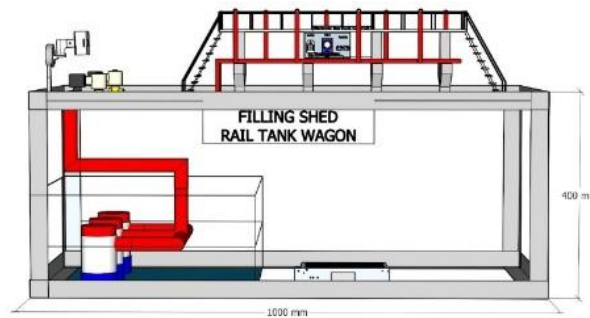


Fig. 9. Desain Tampak Samping

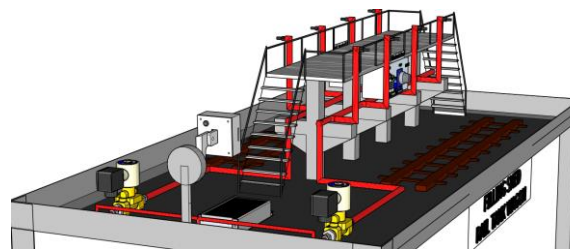


Fig. 10. Desain Tampak Atas

Gambar di atas menampilkan rancangan desain untuk proses fabrikasi alat yang akan dibuat.

Desain ini berfungsi sebagai pedoman dalam tahap pembuatan agar hasilnya sesuai dengan perencanaan awal. Pada proses fabrikasi, digunakan bahan utama berupa aluminium hollow siku dan triplek sebagai dudukan untuk masing-masing komponen. Dimensi alat yang dirancang adalah 100 x 50 x 40 cm.

3.3 Desain Software

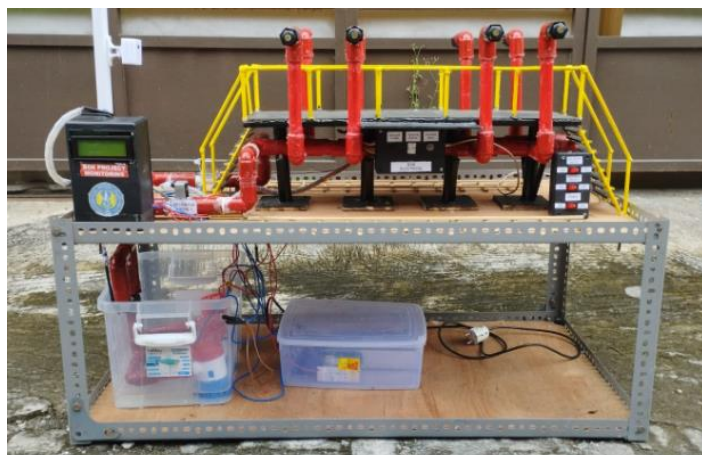
Tahap selanjutnya dalam proses perancangan sistem adalah pengembangan perangkat lunak, yang berfokus pada perancangan logika dan pemrograman untuk membaca, memproses, dan menampilkan data secara real-time dari sensor arus serta sensor aliran pada prototipe otomasi standby support fire pump. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan, menampilkan informasi melalui I2C display, serta mengirimkan data dan menerima perintah melalui aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring jarak jauh. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++, mencakup inisialisasi sensor, pembacaan data berkala, analisis kondisi sistem, dan pengendalian modul relay. Untuk mendukung fungsi tersebut, digunakan sejumlah library seperti Adafruit_SSD1306, Adafruit_GFX, Blynk_Simple_Esp32, WiFi, ESP32WiFi, dan BlynkTimer atau millis().

Sebagai antarmuka pemantauan berbasis IoT, aplikasi Blynk dimanfaatkan untuk menampilkan status operasional sistem sekaligus memberikan akses kontrol kepada pengguna. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat melihat kondisi aliran air dan mode operasi, mengaktifkan atau menonaktifkan pompa cadangan secara manual, serta menerima notifikasi ketika pompa utama tidak beroperasi atau aliran air terdeteksi. Integrasi dengan ESP32 dilakukan melalui auth token yang dimasukkan ke dalam kode program, disertai konfigurasi SSID dan kata sandi WiFi. Setelah program dijalankan pada perangkat, seluruh proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan secara real-time melalui smartphone pengguna.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pembuatan Perangkat Keras

Tahap perangkat keras mencakup proses perancangan dan perakitan komponen elektronik dan mekanik, seperti mikrokontroler ESP32, sensor flow, sensor arus, modul relay, pompa submersible, serta LCD 20x4. Seluruh komponen dirangkai sedemikian rupa agar membentuk sistem yang fungsional dan representatif terhadap logika kerja sistem pemadam kebakaran pada skala yang lebih kecil. Bahan pipa hydrant di lapangan yaitu menggunakan baja karbon, sedangkan pipa hydrant untuk miniatur yaitu pipa PVC ½ inch yang sudah cukup untuk dialirkan air dengan debit maksimal 30 L/min.



Seluruh sambungan pipa, rangka, dan dudukan diperiksa kembali untuk memastikan tidak ada bagian yang longgar atau bergeser, serta dilakukan pembersihan sisa perekat, debu, atau cat. Semua kabel dirapikan menggunakan cable ties dan pelindung kabel untuk menghindari risiko korsleting atau gangguan saat pengoperasian. Penutup box proyek dipasang secara permanen setelah pengujian akhir selesai dilakukan, dan sistem diberi label penanda untuk mempermudah identifikasi fungsi masing-masing komponen.

4.2 Hasil Pembuatan Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak (software) pada proyek akhir ini dilakukan dengan menggunakan platform Arduino IDE, yang berfungsi sebagai lingkungan pemrograman untuk mikrokontroler ESP32. Dalam proses ini, dilakukan penulisan kode program yang mencakup pembacaan data dari sensor flow YF-S201, sensor arus ACS712, kontrol output melalui modul relay, serta komunikasi data ke LCD dan aplikasi Blynk. Logika program disusun untuk mengatur dua mode kerja, yaitu manual dan otomatis, di mana dalam mode otomatis pompa akan menyala berdasarkan kategori debit aliran air, sedangkan dalam mode manual kontrol dilakukan sepenuhnya oleh pengguna. Pengiriman data real-time ke server Blynk menggunakan jaringan Wi-Fi. Seluruh kode diuji dan dioptimalkan secara bertahap untuk memastikan sistem dapat berjalan stabil dan responsif.

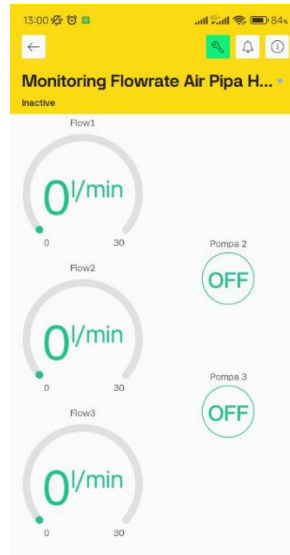


Fig. 11. Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Untuk antarmuka pengguna, dibuat desain dashboard aplikasi Blynk sebagai pusat monitoring dan kontrol jarak jauh berbasis IoT. Dashboard ini terdiri dari beberapa widget seperti Value Display untuk menampilkan nilai debit aliran air dan status pompa, Button atau Switch untuk mengaktifkan pompa 2 dan 3, serta Menu untuk memilih mode kerja sistem (manual/otomatis). Desain dashboard diatur agar mudah dipahami dan digunakan, dengan memperhatikan letak komponen secara logis dan ringkas. Integrasi antara aplikasi Blynk dan program pada ESP32 diuji untuk memastikan komunikasi dua arah berjalan lancar, sehingga pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem kapan saja melalui perangkat mobile.

4.3 Hasil Pengujian

Pada bagian ini disajikan hasil pengujian yang dilakukan pada sistem pemantauan dan kontrol fire pump otomatis/manual berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor flow YF-S201, dan sensor arus ACS712. Pengujian dilakukan terhadap seluruh komponen elektronika pada sistem dengan tujuan memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi sesuai rancangan. Pengujian berikutnya adalah pengujian kinerja sistem yang bertujuan untuk menilai dan memastikan keseluruhan prototipe standby support fire pump pada Rail Tank Wagon Fuel Terminal Rewulu dapat bekerja dengan baik, andal, dan akurat dalam memantau aliran air, mendeteksi status pompa utama, serta mengendalikan pompa tambahan melalui aplikasi Blynk.

4.3.1 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen utama dalam sistem pemantauan dan kontrol fire pump otomatis/manual berbasis IoT bekerja sesuai fungsinya. Komponen seperti ESP32, sensor flow YF-S201, sensor arus ACS712, relay, pompa air, dan LCD I2C 20x4 diuji untuk menilai kinerjanya, dan hasil pengujian tersebut menjadi dasar penentuan kelayakan komponen dalam prototipe standby support fire pump di Rail Tank Wagon Fuel Terminal Rewulu. Hasil lengkap pengujian fungsional di setiap komponen adalah sebagai berikut :

Table 1. Hasil Pengujian Fungsional

NO	Nama Komponen	Proses Pengujian	Hasil	Kondisi
1	NodeMCU ESP32	Dengan memberikan input program, menguji koneksi Wi-Fi, komunikasi serial, dan kontrol output.	ESP32 dapat menjalankan program dengan baik, koneksi Wi-Fi stabil, dan seluruh fungsi input–output merespons sesuai perintah.	Normal
2	Sensor Flow YF-S201	Dengan memberikan variasi debit aliran air pada pipa uji.	Sensor mampu membaca perubahan aliran air, nilai pulse stabil, dan pembacaan nilai aktual dengan respon cepat.	Normal
3	Sensor Arus ACS712	Dengan memberikan beban arus dari pompa dan membandingkan hasil pembacaan.	Sensor mampu mendeteksi perubahan arus dengan baik; nilai terukur sesuai pembanding multimeter dengan penyimpangan kecil.	Normal
4	LCD 20x4	Dengan memberikan input data berupa teks, nilai debit, volume, dan status pompa.	LCD menampilkan informasi dengan jelas, tidak terdapat karakter rusak, dan tampilan berubah sesuai data sensor.	Normal
5	Relay 5 V 2 Channel	Dengan memberikan perintah ON/OFF melalui ESP32 dan memutus / menyambung beban pompa.	Relay dapat berfungsi dengan baik, switching berjalan lancar tanpa delay signifikan, dan mampu mengendalikan beban pompa dengan stabil.	Normal
6	Pompa DC 12V	Dengan memberikan suplai 12V dan menguji performa aliran saat dikendalikan relay.	Pompa dapat beroperasi dengan baik, menghasilkan aliran stabil, dan merespons perintah kontrol ON/OFF dari relay secara normal.	Normal

Berdasarkan hasil yang terdapat pada Tabel 1, seluruh komponen utama pada sistem telah melalui proses pengujian fungsional dan menunjukkan performa yang baik dalam kondisi operasi normal. NodeMCU ESP32 mampu menjalankan program, menjaga koneksi Wi-Fi, serta mengelola input–output secara stabil. Sensor Flow YF-S201 dapat mendeteksi variasi debit aliran air dengan pembacaan yang stabil. Sensor Arus ACS712 mampu membaca perubahan arus pompa dengan akurat dan sesuai hasil pembanding. LCD 20x4 dapat menampilkan informasi sistem dengan jelas tanpa gangguan karakter. Relay 5V 2 Channel berfungsi dengan baik dalam proses switching dan mampu mengendalikan beban pompa tanpa delay yang berarti. Selain itu, pompa DC 12V dapat beroperasi dengan stabil serta merespons perintah kontrol ON/OFF secara normal. Dengan demikian, seluruh komponen dinyatakan layak untuk digunakan dalam integrasi sistem otomasi fire pump berbasis IoT.

4.3.2 Pengujian Kinerja

Pengujian kinerja dilakukan untuk menilai akurasi sistem otomasi pompa berbasis IoT dalam mengukur debit dan volume menggunakan sensor YF-S201, dengan membandingkannya terhadap nilai acuan dari weighing method. Pengujian mencakup beberapa kondisi operasi pompa—pompa

utama saja, pompa utama + pompa support 2, serta pompa utama + pompa support 2 & 3. Data acuan diperoleh dengan menimbang massa air pada awal dan akhir periode tertentu, lalu mengonversinya menjadi volume dan debit aktual. Pembacaan sensor diambil sebagai nilai rata-rata untuk meningkatkan akurasi. Pengujian dilakukan di ruang indoor dengan suhu normal dan kondisi stabil untuk meminimalkan gangguan. Hasil lengkap pengujian disajikan pada tabel berikut.

Table 2. Hasil Pengujian Kinerja Kondisi Pompa Utama ON

No	Waktu (s)	Massa Air Δm (Kg)	Debit Air Aktual (L/min)	Debit Ait Sistem (Sensor) (L/min)	Error %
1	30	4	8	8,2	0,2 L/min (2,5%)
2	60	4,1	8,2	8,2	0 L/min (0%)
3	90	4,1	8,2	8	0,2 L/min (2,4%)
4	120	4,2	8,4	8,2	0,2 L/min (2,4%)
5	150	4	8	8,3	0,3 L/min (3,7%)
Rata-rata Error					2,2 %

Pada kondisi Pompa Utama ON, error terutama muncul karena fluktuasi tekanan dari satu pompa yang menyebabkan aliran belum sepenuhnya stabil. Ketidakstabilan ini membuat sensor tidak selalu membaca debit yang sama dengan debit aktual, ditambah kemungkinan adanya gelembung udara dan ketelitian penimbangan massa air, sehingga menghasilkan rata-rata error 2,2%.

Table 3. Hasil Pengujian Kinerja Kondisi Pompa Utama dan Pompa 2 ON

No	Waktu (s)	Massa Air Δm (Kg)	Debit Air Aktual (L/min)	Debit Ait Sistem (Sensor) (L/min)	Error %
1	30	8	16	16,4	0,4 L/min (2,5%)
2	60	8,5	17	16,7	0,3 L/min (1,7%)
3	90	8,3	16,6	17	0,4 L/min (2,4%)
4	120	8	16	16,4	0,4 L/min (2,5%)
5	150	8,5	17	16,5	0,5 L/min (2,9%)
Rata-rata Error					2,4 %

Pada kondisi Pompa Utama dan Pompa 2 ON, error meningkat karena interaksi dua pompa menciptakan perbedaan tekanan antarjalur sehingga aliran menjadi lebih bergejolak. Ketidaksinkronan kerja kedua pompa dapat menimbulkan variasi debit sesaat yang sulit ditangkap secara akurat oleh sensor, sehingga rata-rata error mencapai 2,4%.

Table 4. Hasil Pengujian Kinerja Kondisi Pompa Utama, Pompa 2, dan Pompa 3 ON

No	Waktu (s)	Massa Air Δm (Kg)	Debit Air Aktual (L/min)	Debit Ait Sistem (Sensor) (L/min)	Error %
1	30	15	30	29,2	0,8 L/min (2,7%)
2	60	15,3	30,6	29,8	0,8 L/min (2,6%)
3	90	14,8	29,6	29,2	0,4 L/min (1,3%)
4	120	15,5	31	30	1 L/min (3,2%)

No	Waktu (s)	Massa Air Δm (Kg)	Debit Air Aktual (L/min)	Debit Air Sistem (Sensor) (L/min)	Error %
5	150	15	30	29,5	0,5 L/min (1,7%)
Rata-rata Error					2,3 %

Pada kondisi Pompa Utama, Pompa 2, dan Pompa 3 ON, error terutama disebabkan oleh perpaduan tiga sumber aliran yang menghasilkan tekanan tinggi dan pola aliran yang kompleks. Kombinasi ini menyebabkan sensor mengalami offset pembacaan karena perubahan debit yang sangat cepat, sementara perhitungan berdasarkan massa air cenderung lebih stabil. Akibatnya muncul rata-rata error sebesar 2,3%.

Berdasarkan hasil pengujian kinerja yang telah dilakukan, didapatkan beberapa grafik perbandingan debit actual dengan debit air dari sistem sebagai berikut :

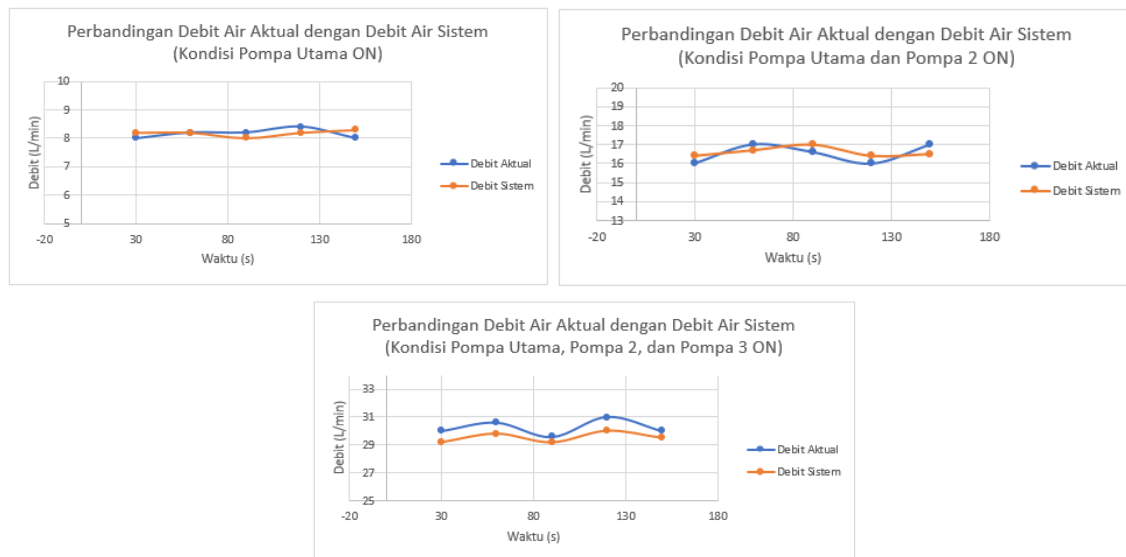


Fig. 12. Grafik Hasil Perbandingan Debit Air Aktual dengan Debit Air Sistem

Grafik perbandingan debit air aktual dengan debit air sistem (Sensor) menunjukkan bahwa kedua kurva memiliki pola kenaikan yang hampir identik pada setiap kondisi pengujian. Nilai debit air yang terukur oleh sensor (debit air sistem) selalu mendekati nilai acuan dari timbangan (debit air aktual), dengan selisih yang relatif kecil. Perbedaan yang muncul tidak signifikan dan masih berada pada batas toleransi kesalahan pengukuran debit air (<5%). Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu melakukan perhitungan debit dengan akurasi tinggi dan tetap konsisten pada setiap kondisi pompa yang diuji.

4.4 Pembahasan

Proyek akhir ini mengembangkan prototipe sistem otomasi standby support fire pump berbasis IoT (Blynk) untuk memantau dan mengendalikan suplai air pemadam secara real-time, terutama ketika pompa utama tidak berfungsi optimal. Sistem terdiri dari sensor flow YF-S201, sensor arus ACS712, ESP32 sebagai pusat kendali, LCD 20x4 sebagai display lokal, relay, serta aplikasi Blynk untuk monitoring jarak jauh.

Proses pengembangan meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, dilanjutkan dengan pengujian untuk memastikan akurasi dan keandalannya. Perangkat keras dirakit dalam box project dan diuji melalui tahapan pemasangan, penyolderan, pengecekan koneksi, serta verifikasi fungsi. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE, dengan program yang membaca sensor, menampilkan data pada LCD, mengirimkan data ke Blynk, dan mengatur logika otomasi pompa support melalui mode manual maupun otomatis.

Pengujian fungsional menunjukkan semua komponen diantaranya ESP32, sensor flow, sensor

arus, LCD, relay, pompa DC, dan aplikasi Blynk berfungsi sesuai spesifikasi. Pengujian kinerja dengan weighing method menghasilkan akurasi di atas 97% pada tiga kondisi operasi pompa, dengan error 2,5–2,7%. Deviasi kecil disebabkan fluktuasi aliran, delay sensor, dan turbulensi. Sistem dinilai akurat, stabil, dan layak menjadi representasi skala miniatur dari sistem fire pump nyata.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pembahasan pada proyek akhir “Prototipe Sistem Otomasi Standby Support Fire Pump pada Rail Tank Wagon Fuel Terminal Rewulu Berbasis Internet of Things (IoT)”, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil dirancang dan sesuai dengan tujuan penelitian, dengan mengintegrasikan sensor aliran YF-S201, ESP32, LCD I2C 20x4, relay 5V 2 channel, pompa DC 12V, sensor arus ACS712, serta aplikasi Blynk dalam dua mode operasi yaitu manual dan otomatis, yang memungkinkan sistem mendukung kerja pompa utama secara adaptif. Pengujian fungsional menunjukkan seluruh komponen bekerja stabil sesuai perannya, mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan data, pengendalian pompa, hingga tampilan dan monitoring melalui LCD dan Blynk. Selain itu, pengujian kinerja menggunakan weighing method mengonfirmasi bahwa sistem memiliki akurasi tinggi di atas 97% dengan deviasi perhitungan di bawah 10% pada berbagai kondisi operasi pompa, sehingga prototipe dinyatakan akurat, presisi, stabil, dan layak digunakan sebagai model awal sistem pemantauan dan kontrol fire pump otomatis berbasis IoT.

Referensi

- [1] NFPA, NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2019.
- [2] PKTJ, Laporan Magang di PT Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Rewulu, Tegal: PKTJ, 2023.
- [3] Sucofindo, "Fuel Terminal Rewulu Project Profile," 2024. [Online]. Available: sucofindo.co.id.
- [4] M. L. T. A. S. H. Ester Saripati Harianja, "Analisis Penerapan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif Dalam Upaya Pencegahan dan Penanggulangan Bahaya Kebakaran Di PTPN IV Unit PKS Pabatu, Serdang Bedagai," *Journal of Healthcare Technology and Medicine*, pp. 1020-1030, 2020.
- [5] J. Brown, Blacksites: A Deep Neural Network-Powered Artificial Immune System for Internet of Things Intrusion Detection, North Carolina Agricultural and Technical State University, 2022.
- [6] A. & S. R. N. Firmansyah, "Autonomous call system berbasis ESP32 untuk peringatan dini kebakaran rumah," *Jurnal Sistem Cerdas*, pp. 89-96, 2023.
- [7] H. L. C. Y. Y. & L. X. Zhang, "A novel IoT-based performance testing method and system for fire pumps," *Water*, p. 792, 2022.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-6570-2001: Instalasi pompa yang dipasang tetap untuk proteksi kebakaran, Jakarta, 2001.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1735-2000: Tata cara perencanaan sistem pipa tegak dan hidran untuk bangunan gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [10] L. Hafifah, "Implementasi Sistem Monitoring Data Real-Time Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, pp. 15-22, 2023.
- [11] A. & P. D. N. Fitriani, "Digital image based IoT intelligent fire detection with telegram notification," *Soft Computing Exploration*, pp. 12-20, 2025.
- [12] G. P. L. & Z. Z. Marchesi, "Dimensional analysis and scalability of a simplified hull girder subjected to underwater explosion shock loading," *International Journal of Impact Engineering*, p. 104569, 2025.

-
- [13] National Fire Protection Association, NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code, Quincy, MA: NFPA, 2019.
- [14] M. Dejene, "Water Flow Sensor Interfacing with Arduino – Measure Flow Rate," 12 August 2021. [Online]. Available: <https://microcontrollerslab.com/water-flow-sensor-pinout-interfacing-with-arduino-measure-flow-rate/>.
- [15] D. Irawan, Monitoring Arus Listrik pada Pompa Menggunakan Sensor ACS712 dan ESP32, Surabaya: Prosiding Seminar SINTA, Universitas Negeri Surabaya, 2021.
- [16] A. A. M. & P. K. Khalifa, "Model Sistem Pengendalian Suhu dan Kelembaban Ruangan Produksi Obat Berbasis NodeMCU ESP32," *Jurnal ELTIKOM: Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer*, pp. 13-25, 2022.
- [17] V. K. R. R. B. A. N. W. E. & N. M. Bakti, "Perbandingan Hasil Nilai Baca Konsumsi Air Antara Sensor Water flow YF-B6 dan YF-S201 dalam Penggunaan Internet of Things," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, pp. 7-11, 2024.
- [18] D. A. S. A. P. Y. S. W. J. S. I. K. & K. A. U. Girindraswari, "Rancangan dan Implementasi Sistem Absensi dengan Sensor Fingerprint dan Sensor Suhu Non-Contact Berbasis IoT Menggunakan Google Sheets," *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, pp. 28-35, 2021.
- [19] U. M. & B. A. A. Tyas, "Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital," *TEKNOS: Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, pp. 1-9, 2023.
- [20] R. N. A. A. & G. R. Siregar, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis pada Pompa Air Berbasis Arduino dan IoT," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, pp. 21-28, 2022.