

Pengembangan Sistem Pompa *Sump* Otomatis Berbasis IoT untuk Saluran *Cable Duct*

James Tulende

Program Studi S2 Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: 25051505013@mhs.unesa.ac.id

Lukman Hakim Febriansyah, Dwi Bagus Aminudin, Lusia Rakhmawati

Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: lukman.23052@mhs.unesa.ac.id, dwi.23048@mhs.unesa.ac.id, lusiaraakhmawati@unesa.ac.id

ABSTRAK

Sump pump memiliki peran penting dalam mencegah akumulasi air pada cable duct di fasilitas industri dengan mengeluarkan air yang masuk secara otomatis. Sistem sump pump konvensional umumnya masih mengandalkan pemantauan manual dan memiliki fitur proteksi yang terbatas, sehingga diperlukan sistem yang mampu melakukan pengendalian dan pemantauan secara otomatis. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kontrol otomatis sump pump berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan Arduino IoT Cloud untuk mendukung pemantauan secara real-time dan pengoperasian jarak jauh. Sistem menggunakan float switch untuk mendeteksi ketinggian air, flow switch untuk memverifikasi aliran air, serta Thermal Overload Relay (TOR) untuk proteksi terhadap kondisi beban lebih. Algoritma kontrol menerapkan pengoperasian pompa secara otomatis berdasarkan level air, deteksi Flow Fail dengan batas waktu 10 detik, proteksi Over Time dengan batas operasi kontinu 300 detik (5 menit), automatic fault reset setelah 8 jam untuk gangguan non-overload, serta waktu tunda pemulihan 5 detik setelah kondisi overload teratasi. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem dapat menjalankan pengendalian pompa berdasarkan level air, mendeteksi kondisi Flow Fail, Over Time, dan Overload, serta menyediakan pengoperasian manual melalui Arduino IoT Cloud. Pengujian operasional pada instalasi cable duct selama lima hari dengan 20 titik pengamatan menunjukkan success rate sebesar 100%, dengan seluruh pengamatan menghasilkan respons sistem yang sesuai dengan kondisi operasi yang diamati. Integrasi Arduino IoT Cloud dapat memantau status pompa, ketinggian air, kondisi aliran, dan informasi sistem secara real-time serta pengendalian pompa melalui jaringan nirkabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mendukung otomatisasi pengendalian dan monitoring sump pump pada instalasi cable duct di lingkungan industri.

Kata kunci: ESP32, Sump Pump, Cable Duct, Arduino IoT Cloud, Monitoring, Kontrol Otomatis, Proteksi Pompa.

ABSTRACT

Sump pumps play an important role in preventing water accumulation in cable ducts at industrial facilities by automatically removing incoming water. Conventional sump pump systems generally rely on manual monitoring and have limited protection features, creating a need for systems capable of automatic control and monitoring. This study developed an ESP32-based automatic sump pump monitoring and control system integrated with Arduino IoT Cloud to support real-time monitoring and remote operation. The system uses a float switch to detect water level, a flow switch to verify water flow, and a Thermal Overload Relay (TOR) to provide protection against overload conditions. The control algorithm implements automatic pump operation based on water level, Flow Fail detection with a 10-second timeout, Over Time protection with a maximum continuous operating time of 300 seconds (5 minutes), automatic fault reset after 8 hours for non-overload faults, and a 5-second recovery delay after an overload condition is cleared. Functional testing showed that the system was able to control the pump based on water level, detect Flow Fail, Over Time, and Overload conditions, and provide manual pump operation through Arduino IoT Cloud. Operational testing on an actual cable duct installation over five days with 20 observation points resulted in a 100% success rate, with all observations producing system responses consistent with the observed operating conditions. The integration with Arduino IoT Cloud enables real-time monitoring of pump status, water level, flow conditions, and system information, as well as pump control through a wireless network. The results demonstrate that the developed system can support automated sump pump control and monitoring in cable duct installations in industrial environments.

Keywords: ESP32, Sump Pump, Cable Duct, Arduino IoT Cloud, Monitoring, Automatic Control, Pump Protection

PENDAHULUAN

Cable duct merupakan infrastruktur penting untuk melindungi kabel listrik dan komunikasi dari kondisi lingkungan eksternal. Namun, akumulasi air di dalam cable duct akibat curah hujan, infiltrasi air tanah, atau kegagalan

sistem drainase dapat mengganggu isolasi kabel, mempercepat korosi, dan meningkatkan risiko gangguan kelistrikan [1], [3]. Pada fasilitas industri, gardu induk, dan jaringan utilitas bawah tanah, genangan air yang berkepanjangan di dalam cable duct dapat menyebabkan kerusakan peralatan, gangguan layanan, dan peningkatan

biaya pemeliharaan [1], [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem drainase yang efektif untuk menjaga keselamatan operasional dan keandalan instalasi cable duct.

Sistem sump pump konvensional umumnya dioperasikan secara manual atau hanya mengandalkan kontrol otomatis lokal tanpa kemampuan pemantauan jarak jauh [1], [3], [7]. Kondisi tersebut menyebabkan personel pemeliharaan perlu melakukan pemeriksaan secara berkala untuk memastikan pompa beroperasi dengan baik dan ketinggian air tetap berada dalam batas aman. Pada fasilitas dengan banyak lokasi cable duct, pendekatan tersebut dapat meningkatkan kebutuhan inspeksi dan berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui kondisi pompa atau gangguan sistem [1].

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat lapangan terhubung dengan jaringan komunikasi dan platform berbasis cloud sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara real-time. Praveen et al. [2] mengembangkan sistem *Smart Water Level Monitoring and Management System* berbasis IoT untuk pemantauan dan pengelolaan ketinggian air. Aini [4] menerapkan ESP32 untuk transmisi data pada sistem monitoring ketinggian air, sedangkan Hasanah et al. [5] mengembangkan sistem monitoring level air menggunakan sensor ultrasonik berbasis IoT dengan aplikasi Blynk. Diono et al. [6] juga menerapkan ESP32 dan platform Antares untuk monitoring ketinggian air. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa IoT dan ESP32 dapat digunakan untuk memperoleh dan mengirimkan informasi kondisi air secara real-time.

Selain pemantauan, penelitian terdahulu juga telah mengembangkan sistem otomatisasi pompa dan pengukuran parameter aliran. Getu dan Attia [3] mengembangkan sistem sensor dan pengendali ketinggian air otomatis, sedangkan Hanik et al. [7] mengembangkan sistem pompa otomatis dan monitoring pada tempat penampungan air. Jangan dan Madzhi [8] menerapkan IoT untuk monitoring kondisi air pada sistem hidroponik, sementara Mansa et al. [9] mengembangkan sistem monitoring ketinggian air sungai secara real-time. Kusuma et al. [10] mengembangkan instrumen pengukuran aliran air berbasis IoT. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemantauan level air, otomatisasi pompa, pengukuran aliran, dan komunikasi IoT telah diterapkan pada berbagai aplikasi pengelolaan air.

Pada aplikasi cable duct, Setyawan et al. [1] mengembangkan sistem monitoring dan otomatisasi pengoperasian pompa air berbasis ESP32 dengan menggunakan *water float switch* dan *water flow sensor*, serta menyediakan notifikasi melalui Telegram. Sistem tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor level, sensor aliran, mikrokontroler, dan komunikasi IoT dapat diterapkan untuk pemantauan pompa pada cable duct. Namun, penelitian-penelitian terdahulu yang ditinjau dalam penelitian ini memiliki fokus yang berbeda, seperti pemantauan ketinggian air, otomatisasi pompa, komunikasi IoT, atau pengukuran aliran. Berdasarkan penelitian terdahulu [1]–[10], masih

terdapat peluang pengembangan sistem yang mengintegrasikan fungsi kontrol otomatis, verifikasi aliran, proteksi pompa, dan pemantauan berbasis cloud secara terpadu untuk aplikasi drainase cable duct.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi beberapa lapisan fungsi kontrol dan proteksi dalam satu sistem sump pump berbasis IoT untuk cable duct. Sistem yang dikembangkan menggunakan *float switch* untuk mendeteksi ketinggian air, *flow switch* untuk memverifikasi keberadaan aliran setelah pompa beroperasi, Thermal Overload Relay (TOR) untuk proteksi terhadap kondisi beban lebih, serta mekanisme Flow Fail dan Over Time untuk mendeteksi kondisi operasi abnormal. Selain itu, ESP32 diintegrasikan dengan Arduino IoT Cloud untuk menyediakan pemantauan status pompa, ketinggian air, kondisi aliran, dan gangguan secara real-time serta memungkinkan pengendalian jarak jauh. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini bukan pada penggunaan ESP32, IoT, atau sensor secara individual, melainkan pada integrasi fungsi deteksi level, verifikasi aliran, proteksi kelistrikan, proteksi waktu operasi, dan monitoring serta kontrol berbasis cloud dalam satu sistem yang dirancang khusus untuk drainase cable duct.

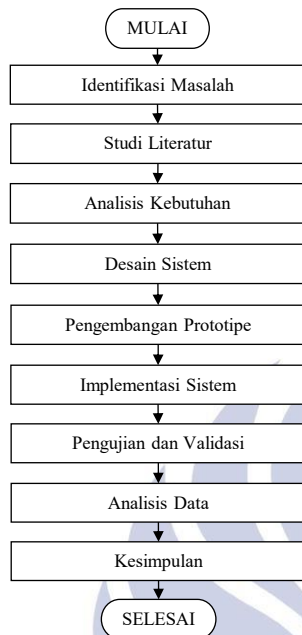
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem sump pump otomatis berbasis IoT pada aplikasi cable duct yang mampu melakukan pengendalian berdasarkan ketinggian air, verifikasi aliran, serta proteksi terhadap kondisi operasi abnormal. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional dan monitoring operasional untuk mengetahui kesesuaian respons sistem terhadap kondisi operasi yang telah ditentukan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan berorientasi pada perancangan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem *sump pump* otomatis berbasis IoT untuk aplikasi *cable duct*. Metode ini dipilih karena penelitian mencakup tahapan perancangan, pengembangan perangkat, integrasi sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi kinerja pada kondisi operasi aktual. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi pada *cable duct*, pengujian sistem, dan evaluasi hasil pengujian.

Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) dengan *sump pump* otomatis untuk melakukan pemantauan kondisi dan drainase air pada *cable duct*. Sistem dirancang untuk mendeteksi akumulasi air menggunakan *float switch*, mengaktifkan pompa secara otomatis ketika kondisi level air memenuhi batas pengoperasian, memverifikasi keberadaan aliran menggunakan *flow switch*, serta memberikan proteksi terhadap kondisi gangguan melalui Thermal Overload Relay

(TOR), *Flow Fail*, dan *Over Time*. Data operasional sistem dikirimkan melalui ESP32 ke platform Arduino IoT Cloud sehingga status pompa, kondisi level air, aliran, dan gangguan dapat dipantau serta dikendalikan dari jarak jauh.



Gambar 1 Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil pengujian. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis melalui studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi komponen, implementasi sistem pada *cable duct* aktual, pengujian pada berbagai kondisi operasi, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Tahapan tersebut digunakan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat menjalankan fungsi kontrol otomatis, proteksi gangguan, dan pemantauan berbasis IoT sesuai dengan tujuan penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun akademik 2025/2026. Sistem diimplementasikan secara langsung pada instalasi *cable duct* aktual di lingkungan operasional. Tahap perancangan dan pengembangan perangkat dilakukan sebelum instalasi, sedangkan integrasi, pengoperasian, dan pengujian dilakukan pada sistem *cable duct* aktual. Pengujian dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan level air, keberadaan aliran pompa, kondisi *Flow Fail*, batas waktu operasi (*Over Time*), kondisi beban lebih, serta pengoperasian melalui mode manual dan otomatis.

Desain Sistem Perangkat Keras

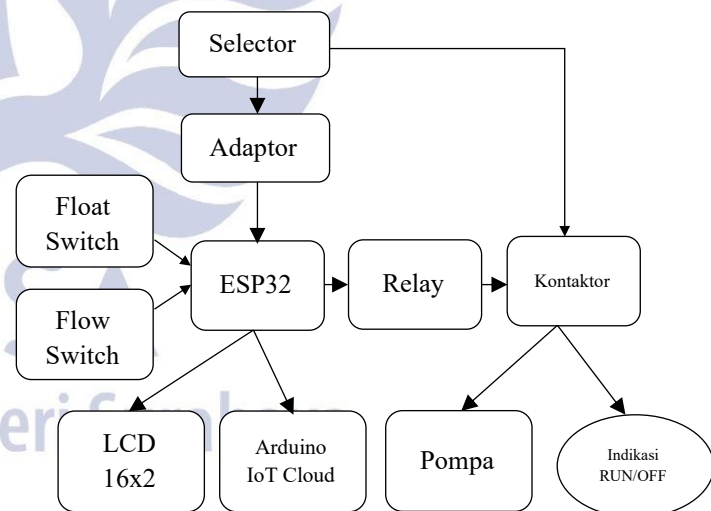
Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama yang mendukung fungsi kontrol, monitoring, dan proteksi pompa. Spesifikasi komponen yang digunakan

dalam perancangan dan implementasi sistem ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Sistem

Komponen	Spesifikasi
Mikrokontroler	ESP32
Sump pump	WQAS 13 - 3
Tegangan pompa	380 V
Daya pompa	3/4 W/HP
Float switch	York kabel 5m
Flow switch	Honeywell WFS-1001-H
Relay	4 channel 5V
Kontaktor	Schneider LC1D09 3P
Thermal Overload Relay	Schneider LRD12, 5.5 A
MCB	10 A
LCD	16 × 2 I ² C
Platform IoT	Arduino IoT Cloud
Komunikasi	Wi-Fi

Berdasarkan konfigurasi komponen yang telah ditentukan, sistem dirancang dalam suatu arsitektur terintegrasi yang menghubungkan bagian penginderaan, pengendalian, proteksi, dan pemantauan. Hubungan fungsional antarbagian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 untuk memberikan gambaran aliran sinyal dan proses pengendalian sistem secara keseluruhan.

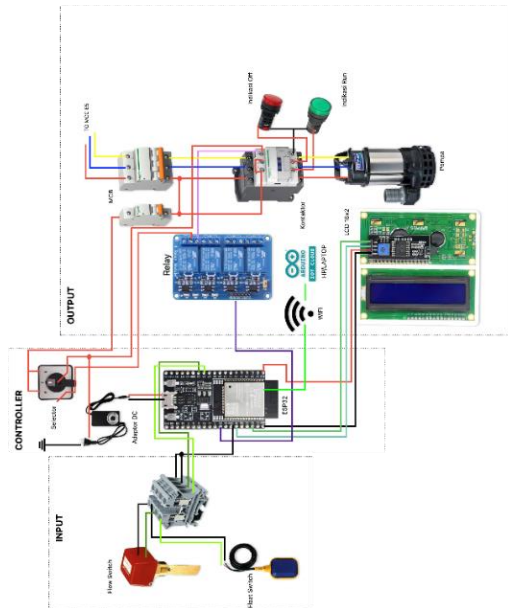


Gambar 2 Diagram Sistem Blok

Gambar 2 menunjukkan arsitektur sistem pemantauan dan kontrol *sump pump* otomatis yang diterapkan pada *cable duct*. Sistem terdiri atas bagian input, unit pemrosesan, rangkaian kendali dan proteksi, serta bagian output.

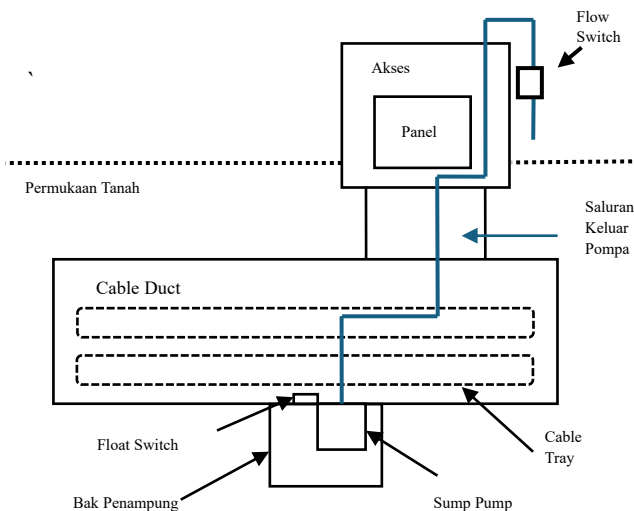
Setelah arsitektur sistem ditentukan, hubungan kelistrikan antar komponen direalisasikan melalui rangkaian *hardwire*. Rangkaian ini digunakan untuk menghubungkan

bagian pengendali dengan rangkaian aktuasi dan proteksi sehingga perintah dari sistem kontrol dapat diterapkan pada operasi pompa. Konfigurasi hubungan kelistrikan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Wiring Sistem Hardware

Rangkaian *hardwire* tersebut selanjutnya diterapkan pada instalasi *cable duct* sebagai bagian dari implementasi sistem. Konfigurasi penempatan pompa, sensor, panel kontrol, serta jalur aliran air disesuaikan dengan kondisi instalasi aktual agar sistem dapat diuji pada kondisi operasi yang telah ditentukan. Konfigurasi instalasi sistem ditunjukkan pada Gambar 4.

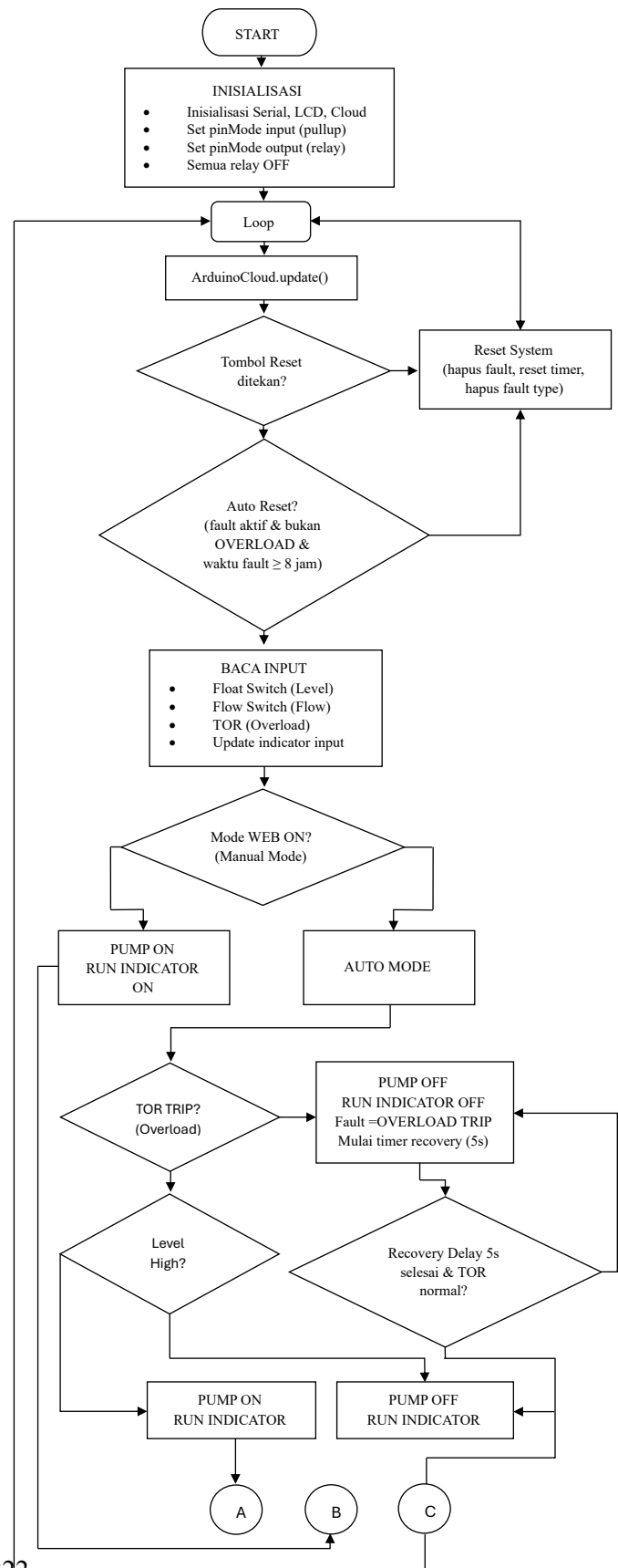


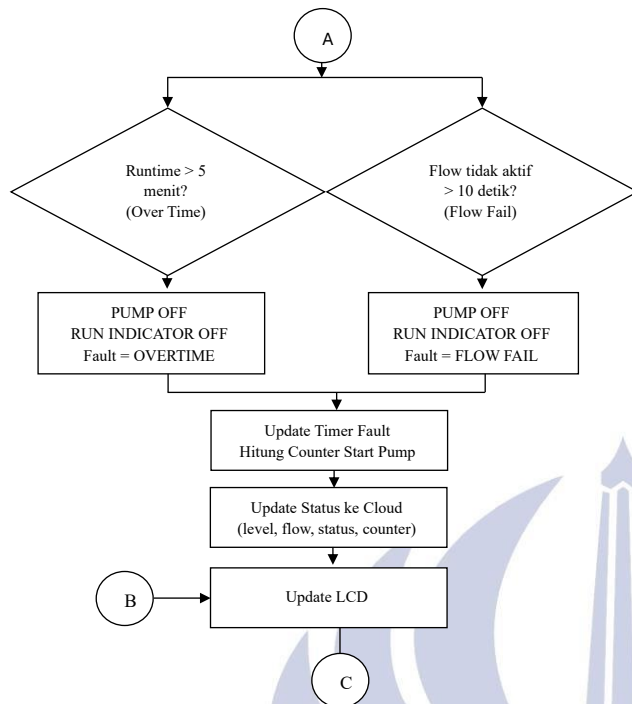
Gambar 4 Konfigurasi Instalasi Sistem

Gambar 4 menunjukkan konfigurasi instalasi sistem sump pump otomatis pada cable duct yang berada sekitar 2.5 m di bawah permukaan tanah. Pada dasar cable duct terdapat sump pit berukuran 1×1 m yang dilengkapi sump pump dan float switch. Air yang dipompa dialirkan melalui pipa

keluaran yang dilengkapi flow switch, sedangkan panel kontrol ditempatkan pada area akses menuju cable duct. Konfigurasi ini digunakan sebagai lokasi implementasi dan pengujian sistem pada kondisi operasional aktual.

Desain Sistem Perangkat Lunak





Gambar 5 Diagram Alir Sistem Perangkat Lunak

Diagram alir perangkat lunak yang ditunjukkan pada Gambar 5 mengilustrasikan urutan operasi sistem pemantauan dan kontrol sump pump otomatis berbasis ESP32 yang diusulkan. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, yaitu ESP32 menginisialisasi komunikasi serial, LCD, koneksi Arduino IoT Cloud, serta mengonfigurasi pin masukan dan keluaran. Seluruh keluaran relay pada awalnya diatur dalam kondisi OFF untuk memastikan proses penyalaan sistem berlangsung secara aman.

Setelah inisialisasi, program secara kontinu menjalankan loop utama dengan memperbarui koneksi Arduino IoT Cloud dan memantau status tombol reset. Sistem kemudian membaca sinyal masukan dari float switch, flow switch, dan Thermal Overload Relay (TOR). Berdasarkan masukan tersebut, pengendali menentukan apakah sistem beroperasi dalam mode manual atau otomatis.

Dalam mode manual, pompa diaktifkan secara langsung melalui antarmuka web dan indikator RUN dinyalakan tanpa mempertimbangkan kondisi sensor. Dalam mode otomatis, ESP32 terlebih dahulu memeriksa sinyal proteksi beban lebih dari TOR. Jika kondisi beban lebih terdeteksi, pompa segera dihentikan, status gangguan diaktifkan, dan sistem menunggu waktu tunda pemulihan sebelum kembali ke operasi normal.

Jika tidak terjadi beban lebih, pengendali mengevaluasi ketinggian air yang dideteksi oleh float switch. Ketika ketinggian air mencapai batas tinggi yang telah ditentukan, pompa dihidupkan. Selama pompa beroperasi, sistem secara kontinu memantau waktu operasi pompa dan kondisi aliran air. Jika pompa beroperasi melebihi waktu maksimum yang

diizinkan, gangguan Over Time dihasilkan. Demikian pula, jika tidak ada aliran air yang terdeteksi dalam periode timeout yang ditentukan, sistem menetapkan kondisi Flow Fail dan menghentikan pompa untuk mencegah kerusakan.

Sistem memperbarui timer gangguan, penghitung start pompa, status operasi, variabel Arduino IoT Cloud, dan tampilan LCD sebelum kembali ke awal loop utama. Proses yang berlangsung secara kontinu ini memungkinkan pemantauan real-time, proteksi pompa otomatis, dan pengoperasian yang andal baik pada kondisi normal maupun kondisi gangguan.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

Gambar 6 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilapangan dapat di lihat pada gambar 6, sesuai dengan wiring hardwire dan pemasangan pada akses masuk cable duct.

Pengujian Sistem

Sistem pemantauan dan kontrol sump pump otomatis yang diusulkan dievaluasi pada beberapa kondisi operasi untuk memverifikasi fungsionalitas algoritma kontrol, kinerja sensor, dan kemampuan pemantauan IoT. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan berbagai kondisi ketinggian air, aliran, dan gangguan. Hasil pengujian sistem dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil Pengujian Sistem

Test	Water Level	Flow Status	TOR Status	Pump	LCD/Cloud Status
1	Low	No Flow	Normal	OFF	Ready
2	High	Flow Detected	Normal	ON	Pump ON
3	Low after pumping	No Flow	Normal	OFF	Ready
4	High	No Flow (>10 s)	Normal	OFF	Flow Fail
5	High	Flow Detected	Normal	OFF (after 300 s)	Over Time
6	High	Flow Detected	Overload	OFF	Overload Trip
7	Manual Control	-	Normal	ON	WEB ON

Seperti ditunjukkan pada Tabel 2, sistem yang diusulkan berhasil melakukan kontrol pompa secara otomatis berdasarkan ketinggian air yang dideteksi oleh float switch. Ketika ketinggian air mencapai ambang batas tinggi, ESP32 mengaktifkan pompa secara otomatis, sedangkan flow switch memverifikasi bahwa air mengalir secara normal. Setelah ketinggian air kembali mencapai ambang batas rendah, pengendali menghentikan pompa secara otomatis.

Fungsi proteksi gangguan juga beroperasi sesuai dengan yang diharapkan. Proteksi Flow Fail menghentikan pompa ketika tidak ada aliran air yang terdeteksi dalam waktu 10 detik. Proteksi Over Time memutus pompa setelah 300 detik operasi kontinu, sedangkan Thermal Overload Relay (TOR) segera menghentikan pompa selama kondisi beban lebih. Selain itu, fitur kontrol manual melalui Arduino IoT Cloud memungkinkan operator mengaktifkan pompa dari jarak jauh, yang menunjukkan efektivitas sistem pemantauan dan kontrol berbasis IoT.

Selain pengujian fungsionalitas dan fitur proteksi, dilakukan pula pengujian keandalan sistem melalui pemantauan operasional secara berkelanjutan. Hasil pemantauan kinerja sistem selama periode lima hari disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Berdasarkan hasil monitoring pada Tabel 3, sistem menunjukkan respons yang konsisten terhadap perubahan *water level* selama periode pengujian lima hari. Pada kondisi *low water level*, pompa berada dalam kondisi OFF dan sistem menampilkan status *Ready*. Ketika *water level* mencapai kondisi *high*, pompa beroperasi dan *flow status* berubah menjadi *Flow Detected*, yang menunjukkan bahwa proses pemompaan terdeteksi oleh flow switch. Status operasi yang ditampilkan pada LCD dan Arduino IoT Cloud juga sesuai dengan kondisi aktual pompa.

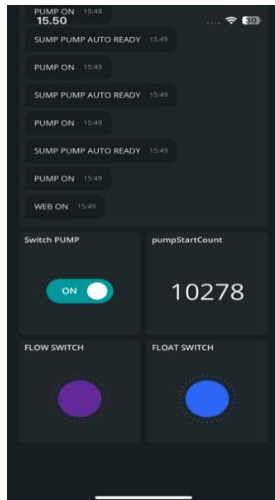
Tabel 3 Hasil Monitoring Operasional Sistem Selama Lima Hari

Hari	Waktu	Water Level	Flow Status	Pump Status	LCD/Cloud Status
Hari 1	08:17	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 1	10:43	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 1	14:26	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 1	17:52	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 2	08:31	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 2	11:05	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 2	13:47	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 2	18:24	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 3	08:12	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 3	10:56	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 3	15:18	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 3	19:03	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 4	08:46	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 4	11:37	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 4	14:52	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 4	17:41	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 5	08:23	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 5	11:14	High	Flow Detected	ON	Pump ON
Hari 5	15:36	Low	No Flow	OFF	Ready
Hari 5	18:47	High	Flow Detected	ON	Pump ON

Dari pengamatan selama lima hari, seluruh pengujian menunjukkan kondisi operasi yang sesuai dengan logika sistem, sehingga diperoleh success rate sebesar 100% dan tidak ditemukan kegagalan operasi pada periode pengamatan. Hasil ini memberikan validasi tambahan terhadap pengujian fungsional pada Tabel 3, karena sistem tidak hanya menunjukkan keberhasilan pada pengujian setiap fungsi, tetapi juga mempertahankan operasi yang konsisten selama periode monitoring.

Gambar 7 menampilkan *dashboard monitoring* pada aplikasi Arduino IoT Cloud Remote. *Dashboard* tersebut menyajikan berbagai informasi dan kontrol sistem *sump*

pump, yang meliputi pesan indikator sistem, tombol sakelar (*button switch*) untuk mengoperasikan pompa, serta fitur *pump start count* untuk mencatat frekuensi pemakaian pompa. Selain itu, terdapat indikator LED untuk *flow switch* dan *float switch* yang berfungsi menampilkan status logika (*HIGH* atau *LOW*) dari masing-masing sensor.



Gambar 7 Dashboard Monitoring Arduino IoT Cloud Remote

Evaluasi Proteksi Gangguan

Parameter proteksi yang diterapkan pada sistem kontrol sump pump otomatis dikonfigurasi berdasarkan karakteristik operasi aktual sistem, waktu respons peralatan, serta hasil pengujian awal pada instalasi cable duct. Penentuan parameter dilakukan untuk memberikan waktu yang cukup bagi sistem untuk merespons kondisi operasi normal, sekaligus membatasi pengoperasian pompa ketika terjadi kondisi abnormal. Dengan demikian, nilai parameter tidak ditetapkan secara arbitrer, tetapi disesuaikan dengan kebutuhan operasional sistem dan karakteristik proses pemompaan yang diamati selama pengujian. Parameter yang digunakan dalam sistem ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4 Parameter Proteksi Sistem

Parameter	Nilai	Fungsi
Flow Timeout (Batas Waktu Aliran)	10 detik	Ditentukan berdasarkan waktu yang diperlukan sistem untuk membentuk aliran setelah pompa diaktifkan. Batas 10 detik memberikan waktu yang cukup untuk mendeteksi aliran normal dan digunakan untuk mengidentifikasi kondisi <i>no-flow</i> atau indikasi <i>dry-running</i> . Jika aliran tidak terdeteksi hingga batas waktu tersebut, pompa dihentikan sebagai tindakan proteksi.

Parameter	Nilai	Fungsi
Maximum Pump Runtime (Waktu Operasi Maksimum Pompa)	300 detik (5 menit)	Ditentukan berdasarkan waktu operasi pompa pada kondisi pemompaan yang diamati selama pengujian. Batas 300 detik digunakan untuk membatasi operasi kontinu pompa apabila penurunan level air tidak terjadi sebagaimana kondisi normal, sehingga dapat mencegah operasi pompa yang berkepanjangan akibat kondisi abnormal.
Fault Auto Reset Time (Waktu Reset Otomatis Gangguan)	8 jam	Ditetapkan sebagai interval pemulihan untuk gangguan <i>non-overload</i> . Interval ini digunakan untuk mencegah sistem melakukan <i>reset</i> berulang dalam waktu singkat dan memberikan waktu yang cukup agar kondisi gangguan dapat ditangani sebelum sistem kembali ke kondisi siap operasi.
LCD Refresh Interval (Interval Penyegaran LCD)	500 ms	Dipilih untuk memberikan pembaruan informasi status sistem secara cepat dan kontinu pada LCD tanpa memerlukan pembaruan pada setiap siklus program. Interval ini digunakan sebagai parameter tampilan dan tidak berfungsi sebagai parameter proteksi pompa.
TOR Recovery Delay (Jeda Pemulihan TOR)	5 detik	Digunakan untuk memberikan jeda sebelum pompa diizinkan beroperasi kembali setelah kondisi <i>overload</i> teratasi dan TOR telah kembali ke kondisi normal. Jeda ini mencegah pengaktifan kembali pompa secara langsung setelah pemulihan proteksi dan memberikan waktu stabilisasi sebelum proses <i>restart</i> .

Berdasarkan Tabel 4, seluruh mekanisme proteksi yang diuji menunjukkan respons sesuai dengan kondisi yang ditetapkan. Sistem mampu menghentikan pompa pada kondisi Flow Fail setelah 10 detik, membatasi waktu operasi melalui proteksi Over Time hingga 300 detik, serta

merespons kondisi overload melalui Thermal Overload Relay (TOR). Hasil ini menunjukkan bawa logika proteksi yang diterapkan dapat memberikan respons terhadap kondisi operasi abnormal sesuai parameter yang telah ditentukan.

Analisis Mode Kegagalan Sistem

Untuk mengevaluasi keandalan sistem, dilakukan analisis terhadap kondisi ketika terjadi kegagalan pada komponen utama, yaitu ESP32, Wi-Fi, Arduino IoT Cloud, float switch, flow switch, relay, kontaktor, dan thermal overload relay (TOR). Analisis dilakukan dengan melihat pengaruh kegagalan masing-masing komponen terhadap proses monitoring, pengendalian, dan proteksi pompa.

Tabel 5 Analisis Mode Kegagalan Sistem

Komponen	Kondisi Kegagalan	Respons Sistem
ESP32	Hang atau tidak merespons	Mode otomatis tidak dapat digunakan sehingga pengoperasian pompa dialihkan ke mode manual melalui selector
Wi-Fi	Koneksi terputus	Data tidak dikirim ke Arduino IoT Cloud, tetapi kontrol lokal ESP32 terhadap pompa tetap berjalan
Arduino IoT Cloud	Cloud tidak tersedia	Dashboard dan monitoring jarak jauh tidak dapat diakses, sedangkan kontrol lokal tetap berjalan
Float switch	Macet ON/OFF	ESP32 menerima kondisi input yang tetap sehingga keputusan pengoperasian pompa mengikuti status input tersebut
Flow switch	Rusak atau tidak berubah kondisi	ESP32 tidak memperoleh perubahan status aliran sehingga fungsi deteksi gangguan aliran

Komponen	Kondisi Kegagalan	Respons Sistem
		tidak bekerja sesuai kondisi aktual
Relay	Gagal aktif/nonaktif	Kontaktor tidak menerima perubahan perintah sehingga pompa tetap pada kondisi sebelumnya
Kontaktor	Gagal membuka/menutup	Pompa tidak dapat mengikuti perintah start/stop dari sistem kontrol
TOR	Trip akibat overload	Rangkaian kontrol terputus sehingga pompa berhenti untuk melindungi motor dari kondisi beban lebih

Berdasarkan Tabel 5, sistem memiliki mekanisme pengoperasian alternatif melalui selector manual ketika ESP32 mengalami hang atau tidak dapat menjalankan fungsi kontrol otomatis. Gangguan Wi-Fi dan Arduino IoT Cloud hanya memengaruhi fungsi monitoring jarak jauh sehingga tidak menghentikan pengoperasian lokal. Sementara itu, kegagalan pada float switch, flow switch, relay, atau kontaktor dapat memengaruhi proses kontrol dan proteksi pompa. Pada kondisi beban lebih, TOR memutuskan rangkaian kontrol sehingga pompa berhenti sebagai bagian dari sistem proteksi motor.

Kesimpulan

Sistem pemantauan dan kontrol sump pump otomatis berbasis ESP32 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mendukung pengoperasian pompa otomatis, proteksi gangguan, dan pemantauan berbasis IoT. Sistem mampu mengendalikan pompa berdasarkan ketinggian air menggunakan float switch dan memverifikasi aliran menggunakan flow switch. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kondisi Flow Fail dengan batas waktu 10 detik, membatasi operasi pompa melalui proteksi Over Time hingga 300 detik (5 menit), serta menghentikan pompa ketika terjadi kondisi overload melalui Thermal Overload Relay (TOR). Sistem juga dapat dioperasikan secara manual melalui Arduino IoT Cloud.

Hasil monitoring operasional selama lima hari menunjukkan respons sistem yang konsisten terhadap

perubahan kondisi water level dan flow. Berdasarkan 20 titik pengamatan, seluruh respons sistem sesuai dengan kondisi operasi yang diamati sehingga diperoleh success rate sebesar 100% dan tidak ditemukan kegagalan operasi selama periode monitoring. Integrasi Arduino IoT Cloud memungkinkan pemantauan status pompa, water level, kondisi aliran, dan status sistem secara real-time serta mendukung pengendalian pompa melalui jaringan nirkabel.

Daftar Pustaka

- [1] N. R. Setyawan, A. Sumarahinsih, and A. B. Setiawan, "Penerapan IoT pada Sistem Monitoring dan Otomatisasi Pengoperasian Pompa Air Kabel Duct Gardu Induk Tanggul," *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, vol. 5, no. 2, pp. 253–261, 2026.
- [2] A. Praveen, R. Radhika, D. Sidharth, S. Ambat, and T. Anjali, "Smart Water Level Monitoring and Management System Using IoT," in *Proc. 6th Int. Conf. Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 2021, pp. 482–487.
- [3] B. N. Getu and H. A. Attia, "Automatic Water Level Sensor and Controller System," in *Proc. 5th Int. Conf. Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, 2016.
- [4] M. F. B. Z. Aini, "Data Transmission Using ESP32 for Water Level Monitoring," *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 266–273, 2022.
- [5] A. P. Hasanah, M. I. Sarif, and Hafni, "Perancangan Sistem Monitoring Level Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT dengan Aplikasi Blynk," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, 2025.
- [6] D. Diono, M. S. Gozali, and H. T. Guntoro, "IoT Implementation in Water Level Monitoring System Using ESP32 and Antares Platform," *Jurnal Integrasi*, vol. 18, no. 1, 2026.
- [7] U. Hanik, D. Sasmoko, N. D. Setiawan, I. S. Suasana, and Sulartopo, "Pompa Otomatis dan Monitoring Kekeringan Tempat Penampungan Air," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer*, vol. 5, no. 3, 2025.
- [8] B. J. Jagan and N. K. Madzhi, "IoT-Based Monitoring and Investigation of the Effect of Water Level, Temperature and Humidity on Hydroponic-Based Plants," in *Proc. Int. Conf. Electrical Engineering and Smart Energy Systems (ICEESE)*, 2024.
- [9] A. R. Mansa, A. M. Ardiyan, E. A. A. A. Asyifa, M. I. Nurulloh, V. H. Satria, and H. Hasanah, "Monitoring ketinggian air sungai secara real time dengan aplikasi Blynx IoT platform," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB) 2025*, 2025, doi: 10.47701/r90kbn5.
- [10] H. A. Kusuma, M. Irfan, and S. Nugraha, "Pengembangan Instrumen Pengukuran Aliran Air Berbasis Internet of Things," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, vol. 7, no. 1, 2021.