

Rancang Bangun Sistem Kendali Pada Sistem Pemadam Kebakaran Otomatis Gedung Perkuliahan Berbasis PLC (SPALIC)

Muhammad Khoirul Annam^{1*}, Gde KM Atmajaya^{1*}, Kiki Kananda^{1*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan, 35365

*Penulis Korespondensi: muhammad.121130056@student.itera.ac.id; gde.atmajaya@el.itera.ac.id; kiki.kananda@el.itera.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 05 Agustus 2025
Direvisi : 09 September 2025
Tersedia online : 30 September 2025

KATA KUNCI

Sistem Pemadam Kebakaran, PLC, Ladder Diagram, Respon Sistem, Kendali Otomatis, Sensor.

A B S T R A K

Kebakaran merupakan bahaya yang diidentifikasi akibat adanya api dan pembakaran yang tidak terkendali, sehingga menghasilkan asap dan gas berbahaya itulah sebabnya dapat mengancam aktivitas manusia, dan juga dapat menyebabkan hilangnya nyawa dan kehancuran harta benda. Untuk mengurangi risiko tersebut, dibutuhkan sistem kendali pemadam kebakaran otomatis yang mampu mengambil keputusan secara cepat dan bekerja secara andal dalam kondisi darurat. Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem kendali berbasis Programmable Logic Controller (PLC) pada Sistem Pemadam Kebakaran Otomatis Gedung perkuliahan berbasis PLC (SPALIC). Sistem terdiri dari sensor suhu, sensor asap, alarm, pompa utama, pompa backup, valve, dan sprinkler yang terintegrasi secara otomatis. Ladder diagram yang dirancang menjalankan tiga bagian utama operasi, yaitu: konversi data dari integer ke bilangan real, mengubah dari nilai analog ke nilai real, serta logika utama untuk mengontrol aktivasi pompa dan alarm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan pompa utama secara otomatis dalam waktu kurang dari 1 detik saat terdeteksi suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan asap ≥ 80 ppm, serta mengaktifkan sprinkler dengan jeda sekitar 1 detik setelah pompa menyala. Alarm juga aktif selama 5 detik menggunakan fungsi timer. Pompa cadangan berhasil meningkatkan tekanan hingga 21,90% saat tekanan turun. Sistem menunjukkan performa kendali yang andal, responsif, dan efisien, sehingga layak diterapkan sebagai solusi mitigasi kebakaran otomatis di lingkungan gedung perkuliahan.

KEYWORDS

Fire Fighting System, PLC, Ladder Diagram, System Response, Automatic Control, Sensor.

A B S T R A C T

Fire is a hazard identified due to uncontrolled fire and combustion, resulting in smoke and hazardous gases that can threaten human activities, and can also cause loss of life and destruction of property. To reduce this risk, an automatic fire extinguishing control system is needed that is able to make decisions quickly and work reliably in emergency conditions. This study discusses the design and implementation of a Programmable Logic Controller (PLC)-based control system in the PLC-based Lecture Building Automatic Fire Extinguishing System (SPALIC). The system consists of a temperature sensor, smoke sensor, alarm, main pump, backup pump, valve, and sprinkler that are automatically integrated. The designed Ladder diagram runs three main parts of the operation, namely: data conversion from integer to real numbers, changing from analog values to real values, and the main logic to control pump and alarm activation. The test results show that the system is able to activate the main pump automatically in less than 1 second when a temperature of $\geq 40^{\circ}\text{C}$ and smoke ≥ 80 ppm are detected and activate the sprinkler with a delay of about 1 second after the pump is on. The alarm is also active for 5 seconds using the timer function. The backup pump successfully increased the pressure by 21.90% when the pressure dropped. The system showed reliable, responsive, and efficient control performance, making it suitable for use as an automatic fire mitigation solution in a lecture building environment.

I PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan bahaya yang diidentifikasi akibat adanya api dan pembakaran yang tidak terkendali, sehingga menghasilkan asap dan gas berbahaya itulah sebabnya dapat mengancam aktivitas manusia dan juga dapat menyebabkan hilangnya nyawa dan kehancuran harta benda [1]. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Bandar Lampung mencatat sebanyak 60 kasus kebakaran terjadi sepanjang tahun 2022. Dari jumlah tersebut, 35 kasus melibatkan bangunan tempat tinggal, 1 kasus pada bangunan industri, 3 kasus pada kendaraan, dan 15 kasus lainnya termasuk kebakaran akibat arus pendek listrik sebanyak 4 kasus [2]. Peristiwa kebakaran dapat menimbulkan dampak yang signifikan bagi mereka yang

terdampak langsung maupun orang-orang di sekitar lokasi, terutama pada gedung bertingkat seperti hotel, perkantoran, rumah sakit dan gedung perkuliahan. Gedung perkuliahan memiliki tingkat risiko kebakaran yang cukup tinggi karena padatnnya aktivitas, jumlah penghuni yang besar, serta penggunaan peralatan elektronik yang berperan besar [3][4].

Diperlukan tindakan cepat dalam menangani kebakaran di gedung perkuliahan menjadi sangat krusial untuk menghindari meluasnya kobaran api. Sistem pemadam kebakaran konvensional yang masih mengandalkan deteksi manual memiliki beberapa kelemahan, antara lain keterlambatan dalam mendeteksi kebakaran, ketergantungan pada manusia, dan respons sistem yang

kurang optimal pada situasi darurat [5]. Keterlambatan deteksi dan respons sistem dapat menyebabkan api menyebar dengan cepat, sehingga proses pemadaman menjadi lebih sulit dan kerugian yang ditimbulkan semakin besar [6]. Maka dari itu, dibutuhkan sebuah sistem yang mampu memberikan peringatan dini kepada pihak terkait saat kebakaran terjadi, sehingga dampak kerugian yang ditimbulkan dapat diminimalkan [7][8].

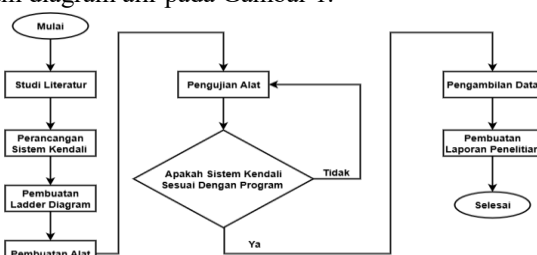
Perkembangan teknologi, khususnya penggunaan *Programmable Logic Controller (PLC)* dalam bidang otomasi, memberikan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut [9]. PLC merupakan sistem kendali digital yang fleksibel, andal dan dapat diprogram untuk mengontrol berbagai proses industri secara otomatis [10]. Keunggulan PLC meliputi kemampuan pemrosesan data yang cepat, akurasi tinggi, daya tahan yang baik terhadap lingkungan industri, serta mudah dalam pemrograman dan *maintenance* [9][11]. Penerapan PLC pada sistem pemadam kebakaran otomatis dapat memberikan perbedaan yang signifikan. Sistem ini merupakan sistem pencegah kebakaran yang memanfaatkan sensor asap dan dioperasikan secara otomatis melalui PLC [12]. Ketika terdeteksi indikasi kebakaran, sistem dapat secara otomatis mengaktifkan alarm peringatan, mengaktifkan pompa air melakukan tindakan pemadaman tanpa menunggu intervensi manusia [13][14].

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, fokus utama pada penelitian ini terletak pada pengembangan subsistem kendali berbasis PLC. Sistem ini memungkinkan pengendalian secara otomatis terhadap proses pemadaman kebakaran berdasarkan data yang diterima dari sensor suhu dan sensor asap. Dengan adanya subsistem kendali ini, sistem dapat merespons secara cepat tanpa memerlukan intervensi manual, sehingga meningkatkan kecepatan dan keandalan sistem dalam menangani potensi kebakaran. Subsistem ini dirancang menggunakan PLC yang diprogram untuk mengaktifkan *fire system* pada gedung perkuliahan secara otomatis.

II METODE

A. Model dan Prosedur Pengembangan.

Pengembangan sistem dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dikaji untuk menjalankan prosedur pengujian sehingga memperoleh hasil sesuai dengan rancangan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem kendali otomatis, yang menjadi bagian dari subsistem produk SPALIC, dengan tujuan untuk melakukan pengendalian. Proses pembuatan sistem ini terdapat beberapa tahapan. Tahapan tersebut dijabarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Metodologi Perancangan

Dalam metode perancangan ini, langkah pertama adalah menetapkan acuan atau referensi yang menjadi dasar untuk alat yang akan dibuat. Proses studi literatur dilakukan dengan menggunakan berbagai referensi terkait topik, guna mendapatkan informasi yang mendukung perancangan, seperti cara kerja dan penggunaan alat. Tahap kedua melibatkan pembuatan rancangan alat, dimana data hasil referensi dan studi literatur untuk dikembangkan menjadi alat yang akan dirancang. Menentukan komponen serta sistem kendali yang akan digunakan. Pada tahap ini, desain dan bentuk alat telah ditetapkan. Langkah selanjutnya adalah membuat *ladder diagram* sesuai dengan mekanisme kerja alat. Pada tahap realisasi dan implementasi, perbandingan dengan produk serupa yang sudah ada dilakukan untuk menyesuaikan alat dengan kebutuhan. Dilanjutkan dengan pembuatan alat dan perakitan komponen sistem kontrol sehingga alat sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Tahap terakhir adalah pengujian alat untuk mendapatkan data terkait kinerjanya. Pengujian mencakup berbagai aspek berdasarkan hasil implementasi perancangan, dari hasil pengujian akan menentukan apakah perlu dilakukan perbaikan atau langsung masuk ke analisis dan pembahasan. Pada akhirnya, perancangan alat ini menghasilkan kesimpulan yang berdasarkan keseluruhan tahapan yang dilalui.

B. Spesifikasi Produk

Sistem Pemadaman Kebakaran Otomatis Gedung Perkuliahan Berbasis PLC atau SPALIC memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Penerapan PLC Fultek CPU ONE pada produk SPALIC, sebagai kendali utama yang menerima masukan dari ESP32 berupa data pembacaan sensor suhu, sensor asap dan sensor tekanan sebagai acuan untuk mengaktifkan sistem pemadam.
2. Produk memiliki sistem kendali pada pompa utama dengan daya 374 watt yang berfungsi untuk sistem pemadam dan kendali pada alarm sebagai pengingat bahaya kebakaran.

C. Instrumen dan Teknik Analisis

Dalam merancang sistem kendali pada produk SPALIC dilakukan pembuatan program *ladder diagram* sebagai pemrograman penting dalam PLC sebagai landasan sistem kerja yang akan diterapkan pada alat. Selanjutnya membuat *interface* panel kontrol dan menghubungkannya dengan sistem kendali alat. Adapun teknik analisis yang diterapkan sebagai berikut

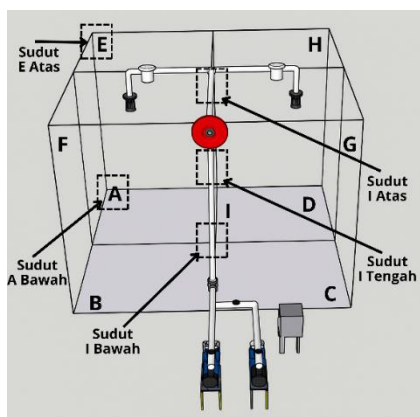
1. Perancangan *ladder diagram* menggunakan metode cascade. Metode cascade merupakan teknik penyusunan urutan operasi dengan membagi menjadi beberapa segmen atau grup secara bertahap berdasarkan urutan atau fungsi tertentu. Struktur *ladder diagram* dibaca dari kiri ke kanan dan atas ke bawah. Pada bagian kiri disebut *logic input* dan bagian kanan disebut *logic output* [15]. Pengujian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembacaan

program, sehingga lebih mudah pada proses simulasi, pengujian, dan pemeliharaan telah sesuai dengan proses kerja alat yang telah di rancang.

2. Pengujian panel kontrol, Pada pengujian ini, melakukan pengecekan koneksi kabel sesuai dan terhubung, periksa catu daya 24 VDC dan 220 VAC. Pengujian melakukan pemeriksaan *input* PLC merespons sensor, alarm dan pompa utama aktif setelah menerima sinyal dari PLC.

D. Prosedur Pengujian

Pengujian respons sistem dilakukan pada maket ruangan dari laboratorium sistem tenaga elektrik dan elektronika dengan skala 1:133m³ dari ukuran ruangan sebenarnya dengan ukuran maket ruangan yaitu 2m x 2m x 180m. pengujian bertujuan untuk mengetahui hasil respons sistem alat. Berikut merupakan skema pengujian respons sistem alat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema Maket Pengujian Alat

Gambar 2 merupakan skema pengujian respons sistem alat. Pengujian respons sistem dilakukan pada maket ruangan dari laboratorium sistem tenaga elektrik dan elektronika dengan skala 1:133m³ dari ukuran ruangan sebenarnya dengan spesifikasi maket berukuran 2m x 2m x 1,8m. Pengujian dilakukan dengan variasi jenis api yaitu api kecil, api sedang dan api besar yang diletakan pada beberapa sudut maket yang bertujuan untuk mengetahui respons sistem produk. Peletakan titik api dilakukan pada lima titik di dalam maket ruangan. Titik-titik tersebut meliputi, sudut A bawah, sudut I bawah, sudut E atas, sudut I tengah dan sudut I atas. Variasi peletakan titik ini digunakan untuk mempresentasikan posisi dan jarak pada skenario penyebaran api. Setelah menentukan titik api selanjutnya melakukan prosedur pengujian. Tahapan pengujian respons sistem ditunjukkan oleh Tabel 1.

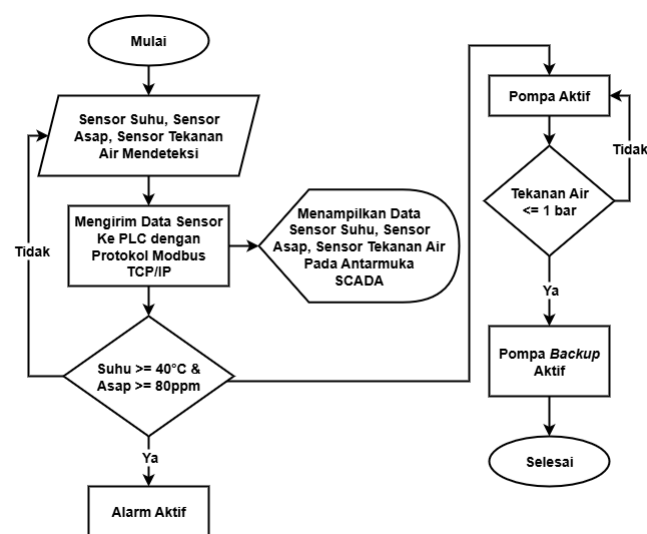
Tabel 1 Prosedur Pengujian Respons Sistem

Spesifikasi	Rincian spesifikasi	Metode pengujian	Prosedur pengujian
Pengujian respons sistem pompa utama alarm, <i>sprinkler</i> , dan pompa <i>backup</i> .	Memastikan bahwa pompa aktif, alarm berbunyi, <i>sprinkler</i> mengeluarkan air saat kondisi kebakaran terdeteksi.	Respons Sistem.	1. Aktifkan sistem, pastikan setiap sensor terhubung dengan baik ke PLC dan ESP32. 2. Simulasikan data dari setiap sensor (misalnya, suhu tinggi atau asap) untuk memicu

Spesifikasi	Rincian spesifikasi	Metode pengujian	Prosedur pengujian
			aktivasi. 3. Amati apakah PLC mengaktifkan pompa dan alarm sesuai randangan. 4. Catat waktu respons sistem (pompa, alarm, <i>sprinkler</i> dan api padam)

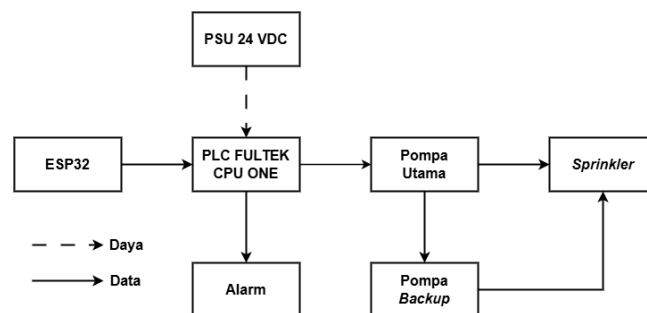
E. Diagram Alir Sistem

Diagram alir produk SPALIC dimulai dengan mengaktifkan semua sensor dan memulai pendeteksian. Data dari setiap sensor akan diproses pada mikrokontroler yang kemudian akan dikirimkan ke PLC. PLC akan mengaktifkan alarm, pompa utama dan pompa *backup* sesuai dengan keputusan yang telah dirancang dengan *trigger* dari pembacaan sensor asap mendeteksi bahwa intensitas asap melebihi 80 ppm dan pembacaan sensor suhu lebih dari 40°C. jika sensor tekanan air pada pipa mendeteksi tekanan air menuju *sprinkler* berada dibawah 1 bar maka pompa *backup* akan aktif. Kemudian semua tampilan pembacaan sensor akan di tampil pada tampilan SCADA sebagai sistem monitoring. Pada Gambar 3 merupakan diagram alir sistem kerja alat.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem

F. Subsistem Kendali



Gambar 4 Diagram Blok Subsistem Kendali

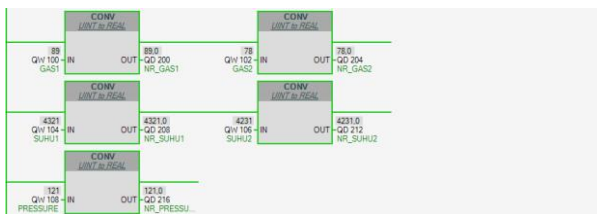
Subsistem kendali berfungsi untuk mengatur sistem kerja sehingga dapat berjalan sesuai algoritma yang telah ditentukan. Subsistem kendali terdiri dari panel kontrol yang di dalamnya terdapat PLC yang terhubung dengan mikrokontroler tipe ESP32 dan berbagai komponen seperti *relay*, *power supply* dan MCB. PLC berfungsi sebagai pengendali utama seluruh sistem pemadam kebakaran otomatis. Berikut diagram blok subsistem kendali pada Gambar 4.

III PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Ladder Diagram PLC

Implementasi sistem kendali SPALIC dirancang untuk dapat menerima dan memproses pembacaan sensor. Langkah pertama dalam proses ini dimulai dengan merancang *ladder diagram* sebagai dasar pengendalian otomatis. *Ladder diagram* digunakan untuk menggambarkan logika kontrol dalam bentuk visual yang mudah dipahami dan diimplementasikan pada perangkat PLC. Proses implementasi yang dirancang melibatkan hubungan antar program blok sudah dibahas pada rancangan produk SPALIC.

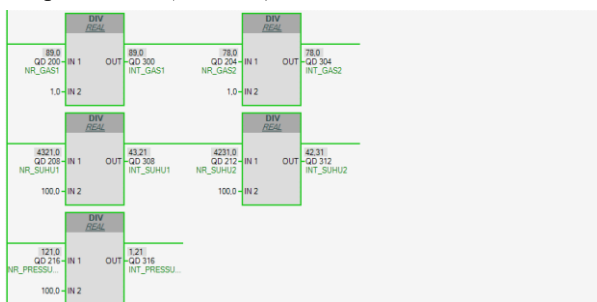
a. Operasi CONV (Conversion)



Gambar 5 Ladder Diagram Operasi CONV

Gambar 5 *ladder diagram* ini menampilkan proses konversi data menggunakan fungsi CONV INT to REAL untuk mengubah dari format *integer* (bilangan bulat) menjadi format *real* (bilangan desimal) yang berasal dari *input* analog seperti sensor gas, suhu, dan tekanan. Masing-masing sensor membaca data dari alamat tertentu, seperti QW 100 untuk Gas1, QW 102 untuk Gas2, QW 104 untuk Suhu1, QW 106 untuk Suhu2, dan QW 108 untuk tekanan. Konversi data ini kemudian menjadi nilai bertipe *real* dan disimpan pada alamat *output*, seperti QD 202, QD 204, QD 208, QD 212, dan QD 216. Proses ini dibutuhkan untuk operasi perhitungan lebih lanjut yang memerlukan tingkat ketelitian desimal.

b. Operasi DIV (Division)

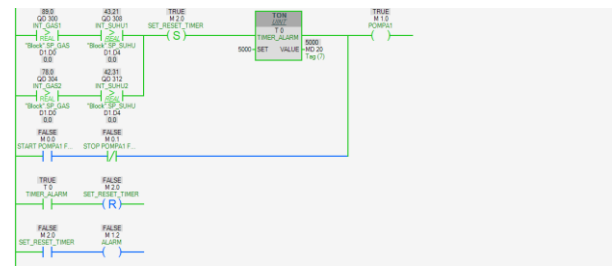


Gambar 6 Ladder Diagram Operasi DIV

Gambar 6 merupakan proses konversi data dari nilai *analog* ke nilai *real* menggunakan operasi DIV REAL. Sebelumnya sudah dikonversi disesuaikan skalanya agar dapat ditampilkan atau digunakan dengan tingkat ketelitian desimal. Pada pembacaan nilai gas dari QD 200 dibagi dengan nilai 1.0 kemudian hasilnya disimpan di QD 300. Proses yang sama juga dilakukan untuk QD 204 dengan pembagi yang sama yaitu 1.0 untuk sensor gas. Pada proses QD 208, QD 212 dan QD 216 dibagi dengan 100.0 dan untuk sensor suhu dan sensor tekanan agar hasil pembacaan sensor dapat dikonversi ke satuan yang sesuai. Proses ini penting dalam sistem karena data akan ditampilkan melalui SCADA.

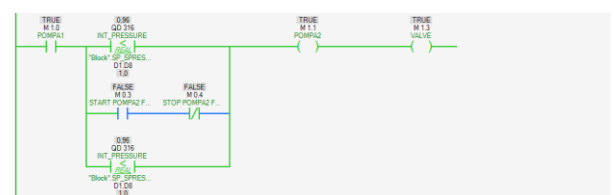
c. Main Logic

Ladder diagram yang dibuat berupa perintah *greater than* untuk mengatur logika kontrol pompa utama dan *delayed timer at startup* pengaturan waktu (*timer*) untuk alarm. Berikut gambar *ladder diagram* yang mengendalikan pompa utama dan alarm.



Gambar 7 Ladder Diagram Kontrol Pompa Utama dan Alarm

Gambar 7 *ladder diagram* ini secara umum mengatur logika kontrol pompa utama dan alarm. Mengacu pada teknik analisis pada bab 3 sistem menggunakan metode cascade dimana struktur *ladder diagram* dibaca dari kiri ke kanan dan atas ke bawah secara bertahap. Proses ini diawali dengan pengecekan apakah semua nilai sensor berada dalam diatas *setting point*. Jika semua kondisi terpenuhi, maka M2.0 akan diaktifkan dan memicu T0 untuk mengaktifkan *timer* TON selama 5000 ms (5 detik) dan pompa utama akan aktif. Proses ini merupakan bagian dari sistem proteksi dan kontrol otomatis yang menjamin pompa hanya aktif jika berada diatas *setting point* dan akan otomatis nonaktif jika berada dibawah *setting point*. Pada saat pompa utama aktif terdapat sensor tekanan yang berfungsi untuk mendeteksi tekanan air untuk mengaktifkan pompa *backup*. Berikut disajikan gambar *ladder diagram* untuk pompa *backup*.



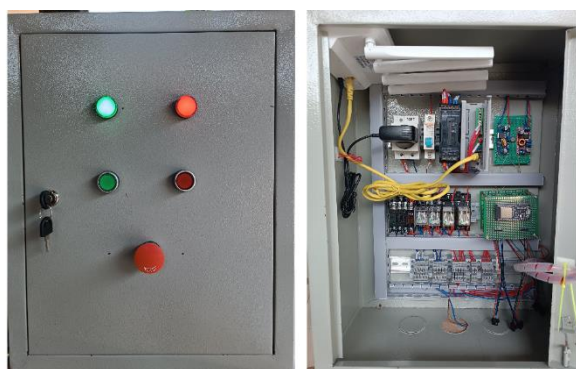
Gambar 8 Ladder Diagram Kontrol Pompa Backup

Gambar 8 *ladder diagram* PLC ini menunjukkan logika kontrol lanjutan untuk mengaktifkan pompa *backup* dan

membuka *valve* menggunakan operasi *less than*. Proses program memeriksa apakah pompa utama (M1.0) sudah aktif, dan apabila nilai berapa dibawah *setting point* maka akan mengaktifkan pompa *backup*. Jika sebaliknya, apabila nilai tekanan masih berada diatas *setting point* maka pompa *backup* non-aktif. Proses logika ini memberikan kontrol bertahap yang memastikan pompa *backup* dan *valve* hanya akan aktif jika pendeteksian sensor tekanan memenuhi syarat, sehingga sistem dapat menjaga kestabilan tekanan aliran air.

B. Hasil Perancangan Panel Kontrol

Implementasi panel kontrol sebagai pengendali sistem SPALIC. Pada Gambar 9 merupakan panel kontrol tampak luar dan tampak dalam Sama halnya dengan label gambar, label.



Gambar 9 Panel Kontrol Tampak Luar dan Tampak Dalam

Gambar 9 merupakan beberapa komponen penyusun dari pengimplementasian yang terdapat pada sistem. Pada tampilan panel kontrol tampak dalam beberapa komponen seperti PLC CPU ONE, *power supply*, MCB, *stop* kontak, *relay*, kontaktor, LM2596, ESP32 dan *terminal block* komponen tersebut untuk mendukung fungsi kendali sistem secara lebih efektif. Selain itu, pada bagian *interface* panel kontrol terdapat beberapa komponen seperti *push button*, *pilot lamp* dan *emergency stop* berfungsi sebagai tombol *start stop* dan lampu indikator.

C. Hasil Pengujian Respons Sistem Alarm

Respons sistem alarm ini bekerja secara otomatis dan dikendalikan menggunakan PLC untuk memberikan peringatan dini apabila terdeteksi adanya potensi kebakaran. Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa alarm dapat merespons secara tepat dan cepat terhadap kondisi darurat. Berikut ini disajikan data pengujian respons sistem alarm dengan beberapa skema pengujian.

Tabel 2 respons sistem alarm dengan api kecil, bahwa pada *case* 1 sampai 4 terdapat kenaikan asap antara 10 sampai 32 ppm dan kenaikan suhu mencapai 31,6 °C, namun belum cukup untuk mengaktifkan (*off*) alarm karena pendeteksian sensor asap dan sensor suhu masih berada di bawah *setting point*. Berbeda dengan *case* 5, bahwa alarm aktif (*on*) pada detik 39 selama 5 detik. Pada *case* ini terdeteksi peningkatan asap hingga 89 ppm dan suhu

mencapai 39,90 °C. Respons alarm menunjukkan bahwa pada posisi sudut I atas lebih cepat responsif.

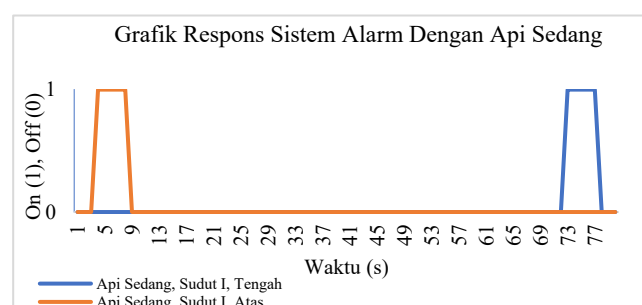
Tabel 2 Respons Sistem Alarm Dengan Api Kecil

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Alarm	
				Pembacaan	Keterangan Waktu Respons (s)
1	Api Kecil, Sudut A, Bawah	22:34:00 - 22:36:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Off 0
2	Api Kecil, Sudut I, Bawah	22:43:00 - 22:45:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Off 0
3	Api Kecil, Sudut E, Atas	22:55:00 - 22:57:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Off 0
4	Api Kecil, Sudut I, Tengah	23:04:00 - 23:06:00	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Off 0
5	Api Kecil, Sudut I, Atas	00:07:00 - 00:07:02	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 28,96 °C Sensor Suhu 2 = 28,9 °C	Sensor Asap 1 = 89 ppm Sensor Asap 2 = 91 ppm Sensor Suhu 1 = 39,90 °C Sensor Suhu 2 = 32,04 °C	On 39

Tabel 3 respons sistem alarm dengan api sedang, bahwa pada *case* 1 sampai 3 alarm tidak aktif (*off*) meskipun terjadi kenaikan asap mencapai 47 ppm dan kenaikan suhu mencapai 40,23 °C, karena pendeteksian sensor asap dan sensor suhu masih berada di bawah *setting point*. Berikut disajikan grafik respons sistem alarm dengan api sedang pada Gambar 10.

Tabel 3 Respons Sistem Alarm Dengan Api Sedang

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Alarm	
				Pembacaan	Keterangan Waktu Respons (s)
1	Api Sedang, Sudut A, Bawah	13:28:00 - 13:30:00	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 38,51 °C Sensor Suhu 2 = 38,57 °C	Sensor Asap 1 = 22 ppm Sensor Asap 2 = 24 ppm Sensor Suhu 1 = 39,04 °C Sensor Suhu 2 = 39,07 °C	Off 0
2	Api Sedang, Sudut I, Bawah	13:37:00 - 13:39:00	Sensor Asap 1 = 8 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,45 °C Sensor Suhu 2 = 38,30 °C	Sensor Asap 1 = 42 ppm Sensor Asap 2 = 39 ppm Sensor Suhu 1 = 38,99 °C Sensor Suhu 2 = 38,8 °C	Off 0
3	Api Sedang, Sudut E, Atas	13:48:00 - 13:50:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 47 ppm Sensor Asap 2 = 74 ppm Sensor Suhu 1 = 40,23 °C Sensor Suhu 2 = 38,82 °C	Off 0
4	Api Sedang, Sudut I, Tengah	13:59:00 - 14:01:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 37,67 °C Sensor Suhu 2 = 37,11 °C	Sensor Asap 1 = 77 ppm Sensor Asap 2 = 85 ppm Sensor Suhu 1 = 40,01 °C Sensor Suhu 2 = 41,61 °C	On 103
5	Api Sedang, Sudut I, Atas	14:07:00 - 14:09:00	Sensor Asap 1 = 11 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 37,68 °C Sensor Suhu 2 = 38,64 °C	Sensor Asap 1 = 200 ppm Sensor Asap 2 = 118 ppm Sensor Suhu 1 = 40,08 °C Sensor Suhu 2 = 41,42 °C	On 34



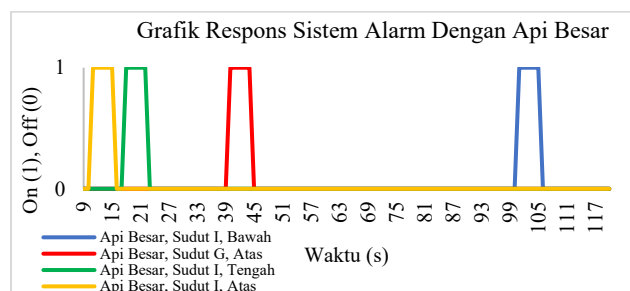
Gambar 10 Grafik Respons Sistem Alarm Dengan Api Sedang

Gambar 10 merupakan grafik hasil respons sistem alarm. Pada sudut I, tengah, terlihat bahwa alarm dalam keadaan tidak aktif (*off*) sejak awal hingga pada detik 41 alarm aktif (*on*) selama rentang waktu 5 detik, setelah itu alarm kembali *off*. Sedangkan pada sudut I, atas. Memperlihatkan bahwa respons sistem alarm aktif (*on*) pada detik 29, alarm aktif selama 5 detik sesuai rancangan pada bab 3 dan pada detik 39 alarm kembali dalam keadaan *off*.

Tabel 4 Respons Sistem Alarm Dengan Api Besar

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Alarm		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Besar, Sudut B, Bawah	14:22:00 - 14:24:00	Sensor Asap 1 = 16 ppm Sensor Asap 2 = 15 ppm Sensor Suhu 1 = 37,18 °C Sensor Suhu 2 = 36,67 °C	Sensor Asap 1 = 73 ppm Sensor Asap 2 = 93 ppm Sensor Suhu 1 = 38,74 °C Sensor Suhu 2 = 38,96 °C	Off	0
2	Api Besar, Sudut I, Bawah	14:30:00 - 14:32:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 153 ppm Sensor Asap 2 = 174 ppm Sensor Suhu 1 = 39,34 °C Sensor Suhu 2 = 40,99 °C	On	101
3	Api Besar, Sudut G, Atas	14:44:00 - 14:46:00	Sensor Asap 1 = 38 ppm Sensor Asap 2 = 35 ppm Sensor Suhu 1 = 36,40 °C Sensor Suhu 2 = 37,51 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 113 ppm Sensor Suhu 1 = 37,80 °C Sensor Suhu 2 = 39,61 °C	On	40
4	Api Besar, Sudut I, Tengah	14:51:00 - 14:53:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 36,29 °C Sensor Suhu 2 = 37,57 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 111 ppm Sensor Suhu 1 = 37,90 °C Sensor Suhu 2 = 42,20 °C	On	18
5	Api Besar, Sudut I, Atas	15:00:00 - 15:02:00	Sensor Asap 1 = 35 ppm Sensor Asap 2 = 22 ppm Sensor Suhu 1 = 35,39 °C Sensor Suhu 2 = 36,20 °C	Sensor Asap 1 = 181 ppm Sensor Asap 2 = 89 ppm Sensor Suhu 1 = 36,73 °C Sensor Suhu 2 = 40,08 °C	On	11

Tabel 4 respons sistem alarm dengan api besar, bahwa pada *case* 1 sistem alarm tidak aktif (*off*) meskipun terdapat kenaikan pendeteksian sensor asap mencapai 93 ppm dan kenaikan suhu mencapai 38,96 °C. Namun, peningkatan tersebut masih di bawah *setting point* sehingga respons sistem tidak dapat dilihat. Respons sistem dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Respons Sistem Alarm Dengan Api Besar

Gambar 11 merupakan hasil grafik respons sistem alarm dengan uji api besar. Pada sudut I, bawah, terlihat bahwa alarm mulai mendeteksi kondisi bahaya dan alarm aktif (*on*) pada detik 101 dan tetap aktif selama 5 detik. Kemudian alarm kembali *off* pada detik 106. Pada sudut G, atas, terlihat bahwa awalnya alarm dalam kondisi tidak aktif (*off*) sampai pada detik 40 adanya kondisi bahaya sehingga alarm aktif (*on*), alarm tetap aktif selama 5 detik, sebelum kembali non aktif (*off*) pada detik 45. Pada sudut I, tengah, dapat dilihat bahwa alarm memberikan sinyal adanya kondisi bahaya sehingga alarm aktif (*on*) pada detik 17 sebelum kembali non aktif pada detik 23. Pada sudut I, atas, dapat dilihat bahwa alarm memberikan sinyal adanya kondisi bahaya sehingga alarm aktif (*on*) pada detik 11 sebelum kembali non aktif pada detik 16, alarm aktif dengan durasi 5 detik. Hal ini selaras dengan data pada Tabel 4 dimana terdeteksi peningkatan asap mencapai hingga 111 ppm dan suhu meningkat hingga 42,20 °C, sehingga sistem mendeteksi adanya kondisi bahaya dan mengaktifkan alarm. Data grafik hasil respons sistem alarm, diketahui bahwa alarm beroperasi sesuai dengan rancangan program pada *ladder diagram* PLC. Alarm akan aktif secara otomatis ketika sensor mendeteksi adanya kenaikan suhu dan asap yang melebihi nilai *setting point* yang telah ditentukan. Alarm akan menyala selama 5 detik setiap kali kondisi tersebut terjadi. Durasi menyala alarm ini dikendalikan melalui pemrograman *timer* dengan jenis *Delayed Timer at*

Startup (TON) pada *ladder diagram* PLC, sehingga respons alarm berjalan sesuai dengan yang telah dirancang.

D. Hasil Pengujian Respons Sistem Pompa

Respons sistem pompa ini dikendalikan secara otomatis menggunakan PLC dan akan aktif ketika sensor mendeteksi adanya bahaya kebakaran. Pengujian dilakukan untuk menilai kecepatan serta ketepatan respons sistem pompa dalam kondisi darurat. Berikut ini disajikan pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 merupakan data pengujian respons sistem pompa dengan beberapa skema pengujian.

Tabel 5 respons sistem pompa dengan api kecil. Dari hasil pengujian bahwa *case* 1 sampai 4 sistem tidak menunjukkan respons pompa tidak aktif (*off*) mengindikasikan bahwa kondisi masih berada pada batas yang diterima, sehingga pompa tidak aktif. Namun pada *case* 5 menunjukan respons sistem pompa aktif pada detik 39 dan detik 61, mengindikasikan adanya kondisi bahaya sehingga karena kenaikan suhu dan asap yang melebihi nilai *setting point* yang telah ditentukan.

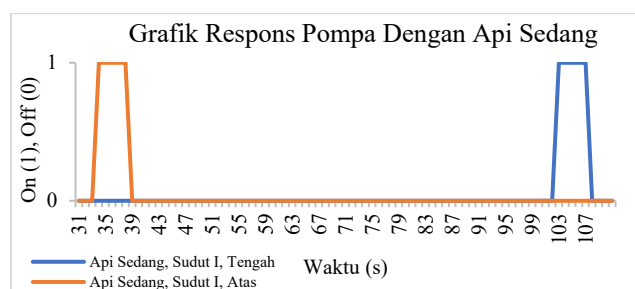
Tabel 5 Respons Sistem Pompa Dengan Api Kecil

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Pompa		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Kecil, Sudut A, Bawah	22:34:00 - 22:36:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Off	0
2	Api Kecil, Sudut I, Bawah	22:43:00 - 22:45:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Off	0
3	Api Kecil, Sudut E, Atas	22:55:00 - 22:57:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Off	0
4	Api Kecil, Sudut I, Tengah	23:04:00 - 23:06:00	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Off	0
5	Api Kecil, Sudut I, Atas	00:07:00	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 28,96 °C Sensor Suhu 2 = 28,9 °C	Sensor Asap 1 = 89 ppm Sensor Asap 2 = 91 ppm Sensor Suhu 1 = 39,90 °C Sensor Suhu 2 = 32,04 °C	On	39

Tabel 6 Respons Sistem Pompa Dengan Api Sedang

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Pompa		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Sedang, Sudut A, Bawah	13:28:00 - 13:30:00	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 38,51 °C Sensor Suhu 2 = 38,57 °C	Sensor Asap 1 = 22 ppm Sensor Asap 2 = 24 ppm Sensor Suhu 1 = 39,4 °C Sensor Suhu 2 = 39,7 °C	Off	0
2	Api Sedang, Sudut I, Bawah	13:37:00 - 13:39:00	Sensor Asap 1 = 8 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,45 °C Sensor Suhu 2 = 38,30 °C	Sensor Asap 1 = 42 ppm Sensor Asap 2 = 39 ppm Sensor Suhu 1 = 38,99 °C Sensor Suhu 2 = 38,8 °C	Off	0
3	Api Sedang, Sudut E, Atas	13:48:00 - 13:50:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 47 ppm Sensor Asap 2 = 74 ppm Sensor Suhu 1 = 40,32 °C Sensor Suhu 2 = 38,82 °C	Off	0
4	Api Sedang, Sudut I, Tengah	13:59:00 - 14:01:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 37,67 °C Sensor Suhu 2 = 37,11 °C	Sensor Asap 1 = 77 ppm Sensor Asap 2 = 85 ppm Sensor Suhu 1 = 40,01 °C Sensor Suhu 2 = 41,61 °C	On	114
5	Api Sedang, Sudut I, Atas	14:07:00 - 14:09:00	Sensor Asap 1 = 11 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 37,68 °C Sensor Suhu 2 = 38,64 °C	Sensor Asap 1 = 200 ppm Sensor Asap 2 = 118 ppm Sensor Suhu 1 = 40,08 °C Sensor Suhu 2 = 41,42 °C	On	45

Tabel 6 respons sistem pompa dengan api sedang, bahwa pada *case* 1 sampai 3 berdasarkan pendeteksian sensor asap dan sensor suhu, sistem pompa tidak aktif (*off*) meskipun terdapat peningkatan nilai suhu dan konsentrasi asap. Seperti pada *case* 1, sensor mendeteksi peningkatan asap dari 7 dan 8 ppm menjadi 22 dan 24 ppm, dan suhu mencapai hingga 39,04 °C. Namun, sistem pompa tidak merespons, menunjukkan bahwa nilai *setting point* belum terpenuhi. Berbeda dengan *case* 4 dan 5, yaitu pada posisi sudut I bagian tengah dan atas, dimana sistem pompa aktif (*on*), disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik Respons Pompa Dengan Api Sedang

Gambar 12 memperlihatkan grafik hasil respons sistem pompa dengan uji api sedang. Pada sudut I, tengah, berdasarkan grafik, pompa mulai aktif (*on*) pada detik 102 dan terus menyala hingga detik 114, sebelum akhirnya kembali *non* aktif (*off*). Hal ini menunjukkan bahwa sistem pompa merespons secara otomatis setelah terjadi peningkatan signifikan pada parameter sensor, yaitu asap dari 10 ppm menjadi 77 dan 85 ppm, serta suhu dari 37,67 °C menjadi lebih dari 41 °C. Pompa kembali tidak aktif (*off*) setelah sensor mendeteksi berada dibawah *setting point*. Aktivasi pompa secara otomatis menandakan sistem bekerja secara optimal dan mampu beroperasi secara otomatis melalui pendeteksian sensor. Pada sudut I, atas, menunjukkan bahwa pompa mulai aktif (*on*) pada detik 32 dan tetap menyala hingga detik 62, karena adanya peningkatan signifikan pada pendeteksian sensor, yaitu sensor asap 1 meningkat dari 11 ppm menjadi 118 ppm dan sensor asap 2 dari 12 ppm menjadi 121 ppm, sedangkan pendeteksian sensor suhu meningkat dari sekitar 37,68 °C menjadi lebih dari 41 °C. Kenaikan tersebut memicu sistem untuk mengaktifkan pompa secara otomatis. Sebelum akhirnya kembali *non* aktif (*off*) pada saat sensor asap dan suhu mendeteksi berada dibawah *setting point*. Aktivasi pompa secara otomatis menandakan sistem bekerja secara optimal dan mampu beroperasi secara otomatis melalui pendeteksian sensor.

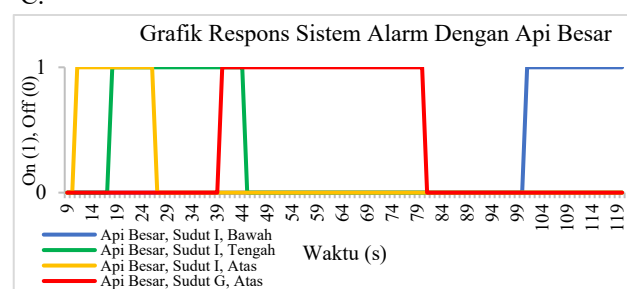
Tabel 7 Respons Sistem Pompa Dengan Api Besar

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Pompa		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Besar, Sudut B, Bawah	14:22:00 - 14:24:00	Sensor Asap 1 = 16 ppm Sensor Asap 2 = 15 ppm Sensor Suhu 1 = 37,18 °C Sensor Suhu 2 = 36,67 °C	Sensor Asap 1 = 73 ppm Sensor Asap 2 = 93 ppm Sensor Suhu 1 = 38,74 °C Sensor Suhu 2 = 38,96 °C	Off	0
2	Api Besar, Sudut I, Bawah	14:30:00 - 14:32:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 153 ppm Sensor Asap 2 = 174 ppm Sensor Suhu 1 = 39,34 °C Sensor Suhu 2 = 40,99 °C	On	101
3	Api Besar, Sudut G, Atas	14:44:00 - 14:46:00	Sensor Asap 1 = 38 ppm Sensor Asap 2 = 35 ppm Sensor Suhu 1 = 36,40 °C Sensor Suhu 2 = 37,51 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 113 ppm Sensor Suhu 1 = 37,80 °C Sensor Suhu 2 = 39,61 °C	On	40
4	Api Besar, Sudut I, Tengah	14:51:00 - 14:53:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 36,29 °C Sensor Suhu 2 = 37,57 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 111 ppm Sensor Suhu 1 = 37,90 °C Sensor Suhu 2 = 42,20 °C	On	18
5	Api Besar, Sudut I, Atas	15:00:00 - 15:02:00	Sensor Asap 1 = 33 ppm Sensor Asap 2 = 22 ppm Sensor Suhu 1 = 35,39 °C Sensor Suhu 2 = 36,20 °C	Sensor Asap 1 = 181 ppm Sensor Asap 2 = 89 ppm Sensor Suhu 1 = 36,73 °C Sensor Suhu 2 = 40,08 °C	On	11

Tabel 7 menyajikan data hasil respons sistem pompa dengan api besar, bahwa dari 5 *case* pengujian sistem pompa memberikan respons otomatis pada 4 di antaranya, sementara pada *case* 1, tidak menunjukkan aktivasi pompa (*off*), meskipun terdapat peningkatan nilai sensor asap dan suhu. Pada *case* 1, sensor asap 1 dan 2 meningkat menjadi 73 ppm dan 93 ppm, sementara sensor suhu meningkat hingga 38,74 °C dan 38,96 °C, tetapi tidak cukup untuk

mengaktifkan sistem pompa secara otomatis, menunjukkan bahwa ambang batas aktivasi pompa masih berada dibawah *setting point*. Sementara pada *case* lainnya dapat terlihat respons sistem pompa mampu bekerja, disajikan pada Gambar 13.

Gambar 13 grafik hasil respons sistem pompa dengan pengujian api besar. Pada sudut I, bawah terlihat bahwa respons sistem pompa aktif (*on*) pada detik 101 terus aktif sampai detik 120. Dengan pendeteksian sensor asap menunjukkan peningkatan dari nilai awal 10 ppm dan 7 ppm menjadi 153 ppm dan 174 ppm, serta suhu meningkat dari 38,11 °C dan 38,05 °C menjadi 39,34 °C dan 40,99 °C. Pada sudut G, atas. Bahwa sistem pompa aktif (*on*) pada detik 40 dan menyala hingga detik 80, dengan pendeteksian sensor asap mengalami peningkatan signifikan dari 38 ppm dan 35 ppm menjadi 106 ppm dan 113 ppm, sedangkan suhu juga naik dari menjadi 37,80 °C dan 39,61 °C 36,40 °C dan 37,51 °C.



Gambar 13 Grafik Respons Sistem Pompa Dengan Api Besar

Respons sistem yang cepat, menunjukkan bahwa sistem dan pompa bekerja secara efisien dalam mendeteksi dan merespons kebakaran. sistem pompa mampu bekerja secara otomatis setelah indikator kembali normal, menandakan kontrol yang adaptif dan responsif terhadap kondisi ruangan. Pada sudut I, tengah. Bahwa sistem pompa aktif (*on*) pada detik 18 dan menyala hingga detik 43, dengan pendeteksian sensor asap, dari 27 ppm dan 30 ppm menjadi 106 ppm dan 111 ppm, serta suhu dari 36,29 °C dan 37,57 °C menjadi 37,90 °C dan 40,02 °C. Lonjakan asap dan suhu ini memberikan sinyal kuat kepada sistem untuk mengaktifkan pompa secara otomatis.

Aktivasi sistem pompa mampu mendeteksi dengan cepat dan pompa mampu bekerja secara otomatis saat kondisi telah membaik atau berada di bawah *setting point*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan kontrol yang baik dan responsif terhadap kondisi lingkungan. Pada sudut I, atas. Bahwa pompa aktif (*on*) pada detik 32 dan menyala hingga detik 77. Dengan pendeteksian sensor asap dari 33 ppm dan 22 ppm menjadi 181 ppm dan 198 ppm, sedangkan suhu meningkat dari 35,39 °C dan 36,20 °C menjadi 46,73 °C dan 40,08 °C. Kenaikan menunjukkan adanya potensi bahaya besar yang langsung mengaktifkan sistem pompa secara otomatis. Sistem pompa bekerja dalam mengenali kondisi berdasarkan ambang batas asap dan suhu.

E. Hasil Pengujian Respons Sistem Sprinkler

Sistem *sprinkler* merupakan bagian penting dalam pemadaman awal saat kebakaran. Sistem ini bekerja secara

bersamaan dengan aktifnya pompa. *Sprinkler* berfungsi menyempatkan air langsung ke area yang terdeteksi panas atau asap, sehingga dapat meminimalisir penyebaran api. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat responsivitas dalam kondisi simulasi darurat. Berikut ini disajikan data pengujian respons *sprinkler* dengan beberapa skema pengujian.

Tabel 8 respons sistem *sprinkler* dengan api kecil, bahwa dari kelima kasus pengujian tersebut, hanya *case 5* yang menunjukkan aktivasi sistem *sprinkler*, dengan waktu respons pada detik 41, sedangkan keempat kasus lainnya tidak menunjukkan respons. Berdasarkan data pendeteksian sensor, *case* dengan status (*off*) menunjukkan bahwa tingkat asap dan suhu masih berada di bawah *setting point*. Seperti contoh, pada *case 1*, pendeteksian sensor asap berada pada 10-12 ppm dan suhu sekitar 30 °C, yang masih tergolong rendah dan belum dianggap berbahaya. Sementara, pada *case 5*, terdapat peningkatan pada asap hingga 108 ppm dan suhu sampai 40,93 °C, sehingga memicu sistem *sprinkler* aktif sebagai respons terhadap ancaman kebakaran.

Tabel 8 Respons Sistem *Sprinkler* Dengan Api Kecil

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	<i>Sprinkler</i>		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Kecil, Sudut A, Bawah	22:34:00 - 22:36:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	<i>Off</i>	0
2	Api Kecil, Sudut I, Bawah	22:43:00 - 22:45:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	<i>Off</i>	0
3	Api Kecil, Sudut E, Atas	22:55:00 - 22:57:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	<i>Off</i>	0
4	Api Kecil, Sudut I, Tengah	23:04:00 - 23:06:00	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	<i>Off</i>	0
5	Api Kecil, Sudut I, Atas	00:07:00 - 00:07:02	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 28,96 °C Sensor Suhu 2 = 28,9 °C	Sensor Asap 1 = 89 ppm Sensor Asap 2 = 91 ppm Sensor Suhu 1 = 39,90 °C Sensor Suhu 2 = 32,04 °C	<i>On</i>	41

Tabel 9 Respons Sistem *Sprinkler* Dengan Api Sedang

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	<i>Sprinkler</i>		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Sedang, Sudut A, Bawah	13:28:00 - 13:30:00	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 38,51 °C Sensor Suhu 2 = 38,57 °C	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 38,51 °C Sensor Suhu 2 = 38,57 °C	<i>Off</i>	0
2	Api Sedang, Sudut I, Bawah	13:37:00 - 13:39:00	Sensor Asap 1 = 8 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,45 °C Sensor Suhu 2 = 38,30 °C	Sensor Asap 1 = 8 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,45 °C Sensor Suhu 2 = 38,30 °C	<i>Off</i>	0
3	Api Sedang, Sudut E, Atas	13:48:00 - 13:50:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	<i>Off</i>	0
4	Api Sedang, Sudut I, Tengah	13:59:00 - 14:01:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 37,67 °C Sensor Suhu 2 = 37,11 °C	Sensor Asap 1 = 77 ppm Sensor Asap 2 = 85 ppm Sensor Suhu 1 = 40,01 °C Sensor Suhu 2 = 41,61 °C	<i>On</i>	104
5	Api Sedang, Sudut I, Atas	14:07:00 - 14:09:00	Sensor Asap 1 = 11 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 37,68 °C Sensor Suhu 2 = 38,64 °C	Sensor Asap 1 = 200 ppm Sensor Asap 2 = 118 ppm Sensor Suhu 1 = 40,08 °C Sensor Suhu 2 = 41,42 °C	<i>On</i>	35

Tabel 9 respons sistem *sprinkler* dengan api sedang. Bahwa dari kelima kasus pengujian tersebut, hanya dua kasus yang menunjukkan aktivasi sistem *sprinkler*, yaitu *case 4* dengan waktu respons pada detik 104, dan *case 5* dengan waktu respons pada detik 35. Sementara itu, tiga *case* lainnya tidak menunjukkan respons sistem. Berdasarkan pendeteksian sensor, *case* dengan status (*off*) menunjukkan pendeteksian sensor asap antara 7–10 ppm dan suhu di bawah 39 °C, yang masih berada di bawah ambang aktivasi sistem. Sedangkan pada *case 5*, terdeteksi sensor asap hingga 111–120 ppm dan suhu mencapai 41,42 °C dan pada *case 4* pendeteksian suhu dan

asap juga cukup tinggi asap 85–97 ppm, suhu di atas 41 °C. Sehingga berhasil mengaktifkan sistem *sprinkler* sebagai respons terhadap potensi kebakaran.

Tabel 10 Respons Sistem *Sprinkler* Dengan Api Besar

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	<i>Sprinkler</i>		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Besar, Sudut B, Bawah	14:22:00 - 14:24:00	Sensor Asap 1 = 16 ppm Sensor Asap 2 = 15 ppm Sensor Suhu 1 = 37,18 °C Sensor Suhu 2 = 36,67 °C	Sensor Asap 1 = 16 ppm Sensor Asap 2 = 15 ppm Sensor Suhu 1 = 37,18 °C Sensor Suhu 2 = 36,67 °C	<i>Off</i>	0
2	Api Besar, Sudut I, Bawah	14:30:00 - 14:32:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 153 ppm Sensor Asap 2 = 174 ppm Sensor Suhu 1 = 39,34 °C Sensor Suhu 2 = 40,99 °C	<i>On</i>	102
3	Api Besar, Sudut G, Atas	14:44:00 - 14:46:00	Sensor Asap 1 = 38 ppm Sensor Asap 2 = 35 ppm Sensor Suhu 1 = 36,40 °C Sensor Suhu 2 = 37,51 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 113 ppm Sensor Suhu 1 = 37,80 °C Sensor Suhu 2 = 39,61 °C	<i>On</i>	41
4	Api Besar, Sudut I, Tengah	14:51:00 - 14:53:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 36,29 °C Sensor Suhu 2 = 37,57 °C	Sensor Asap 1 = 106 ppm Sensor Asap 2 = 111 ppm Sensor Suhu 1 = 37,90 °C Sensor Suhu 2 = 42,20 °C	<i>On</i>	19
5	Api Besar, Sudut I, Atas	15:00:00 - 15:02:00	Sensor Asap 1 = 33 ppm Sensor Asap 2 = 22 ppm Sensor Suhu 1 = 35,39 °C Sensor Suhu 2 = 36,20 °C	Sensor Asap 1 = 181 ppm Sensor Asap 2 = 89 ppm Sensor Suhu 1 = 36,73 °C Sensor Suhu 2 = 40,08 °C	<i>On</i>	12

Jika dibandingkan dengan Tabel 6 pengujian respons sistem pompa dengan api sedang, bahwa *sprinkler* mulai bekerja dengan keterlambatan sekitar 1 detik setelah pompa aktif. Hal ini disebabkan oleh adanya jeda waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan tekanan air dari pompa hingga mencapai dan keluar melalui *sprinkler*.

Tabel 10 respons sistem *sprinkler* dengan api besar. Bahwa dari kelima *case* pengujian tersebut, terdapat empat *case* menunjukkan aktivasi sistem *sprinkler*, yaitu pada *case 2*, 3, 4, dan 5. Hanya *case 1* yang tidak mengalami aktivasi *sprinkler*, meskipun sensor mendeteksi asap sebesar 16 ppm dan suhu mencapai 37,18 °C. Dari data menunjukkan bahwa aktivasi sistem *sprinkler* terjadi ketika suhu dan asap berada pada tingkat yang cukup tinggi. Seperti contoh, pada *case 5*, waktu respons *sprinkler* pada detik 12, dengan pendeteksian sensor asap yang mencapai 181 ppm dan suhu melebihi 40 °C. Hal serupa terjadi pada *case 3* dan 4, dengan pendeteksian sensor asap yang berada pada 116–121 ppm dan suhu sekitar 41–42 °C. Aktivasi terjadi ketika suhu dan asap pekat melewati ambang batas *setting point*. Jika dibandingkan dengan Tabel 7 pengujian respons sistem pompa dengan api besar, bahwa *sprinkler* mulai bekerja dengan keterlambatan sekitar 1 detik setelah pompa aktif.

F. Hasil Pengujian Respons Sistem Pemadaman

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi gabungan dari sistem pompa dan *sprinkler* dalam menanggulangi kebakaran. Dalam pengujian ini adalah waktu yang dibutuhkan hingga api benar-benar padam setelah pompa dan *sprinkler* aktif. Berikut ini disajikan pengujian respons sistem Pemadaman api dengan beberapa skema pengujian.

Tabel 11 Respon Sistem Api Padam Dengan Api Kecil

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Kondisi Akhir Api		Waktu Respons (s)
				Pembacaan	Keterangan	
1	Api Kecil, Sudut A, Bawah	22:34:00 - 22:36:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 30,21 °C Sensor Suhu 2 = 30,01 °C	Sensor Asap 1 = 11 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,57 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	<i>On</i>	0
2	Api Kecil, Sudut I, Bawah	22:43:00 - 22:45:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 31,55 °C Sensor Suhu 2 = 30,23 °C	Sensor Asap 1 = 28 ppm Sensor Asap 2 = 34 ppm Sensor Suhu 1 = 31,92 °C Sensor Suhu 2 = 31,27 °C	<i>On</i>	0
3	Api Kecil, Sudut E, Atas	22:55:00 - 22:57:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 10 ppm Sensor Suhu 1 = 30,79 °C Sensor Suhu 2 = 30,33 °C	Sensor Asap 1 = 19 ppm Sensor Asap 2 = 21 ppm Sensor Suhu 1 = 31,10 °C Sensor Suhu 2 = 30,82 °C	<i>On</i>	0

4	Api Kecil, Sudut I, Tengah	23:04:00 - 23:06:00	Sensor Asap 1 = 12 ppm Sensor Asap 2 = 13 ppm Sensor Suhu 1 = 30,55 °C Sensor Suhu 2 = 29,83 °C	Sensor Asap 1 = 19 ppm Sensor Asap 2 = 21 ppm Sensor Suhu 1 = 31,10 °C Sensor Suhu 2 = 30,82 °C	On	0
5	Api Kecil, Sudut I, Atas	00:07:00 - 00:07:02	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 28,06 °C Sensor Suhu 2 = 28,9 °C	Sensor Asap 1 = 62 ppm Sensor Asap 2 = 65 ppm Sensor Suhu 1 = 39,96 °C Sensor Suhu 2 = 32,41 °C	On	0

Tabel 11 respons sistem api padam dengan api kecil, bertujuan untuk mengevaluasi kinerja gabungan sistem pompa dan *sprinkler*, dalam memadamkan api kecil secara menyeluruh. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh *case* 1 hingga 5 memiliki status (*on*) bahwa api belum benar padam. Mengindikasikan bahwa tidak terjadi pemadaman total api dalam rentang waktu pengujian 120 detik meskipun sistem pompa dan *sprinkler* telah aktif. Temuan ini menunjukkan bahwa pada kasus kebakaran berskala kecil, kombinasi sistem pompa dan *sprinkler* belum cukup efektif dalam memadamkan api dalam waktu cepat, bahwa api akan padam bergantung pada besar dan kecilnya api, serta jarak api dari *sprinkler*.

Tabel 12 respons sistem api padam dengan api besar, bertujuan untuk mengevaluasi kinerja gabungan sistem pompa dan *sprinkler*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *case* 1 dan 2 belum berhasil memadamkan api dalam durasi pengujian. Sementara pada *case* 3, 4 dan 5 api berhasil dipadamkan sepenuhnya, pada *case* 3 api berhasil padam pada detik 50, dan pada *case* 4 api berhasil padam pada detik 28 serta pada *case* 5 api berhasil padam pada detik 20. Menunjukkan bahwa sistem gabungan mampu bekerja efektif, terutama ketika distribusi semprotan air menjangkau titik api dengan baik. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem gabungan pompa dan *sprinkler* memiliki efektivitas yang baik, pemadaman tergantung pada posisi *sprinkler* dan distribusi air.

Tabel 12 Respons Sistem Api Padam Dengan Api Sedang

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Kondisi Akhir Api		
				Pembacaan	Keterangan	Waktu Respons (s)
1	Api Sedang, Sudut A, Bawah	13:28:00 - 13:30:00	Sensor Asap 1 = 7 ppm Sensor Asap 2 = 8 ppm Sensor Suhu 1 = 38,51 °C Sensor Suhu 2 = 38,57 °C	Sensor Asap 1 = 22 ppm Sensor Asap 2 = 24 ppm Sensor Suhu 1 = 39,40 °C Sensor Suhu 2 = 39,07 °C	On	0
2	Api Sedang, Sudut I, Bawah	13:37:00 - 13:39:00	Sensor Asap 1 = 8 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,45 °C Sensor Suhu 2 = 38,30 °C	Sensor Asap 1 = 42 ppm Sensor Asap 2 = 39 ppm Sensor Suhu 1 = 38,99 °C Sensor Suhu 2 = 38,80 °C	On	0
3	Api Sedang, Sudut E, Atas	13:48:00 - 13:50:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 47 ppm Sensor Asap 2 = 74 ppm Sensor Suhu 1 = 40,24 °C Sensor Suhu 2 = 38,83 °C	On	0
4	Api Sedang, Sudut I, Tengah	13:59:00 - 14:01:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 37,67 °C Sensor Suhu 2 = 37,11 °C	Sensor Asap 1 = 40 ppm Sensor Asap 2 = 44 ppm Sensor Suhu 1 = 39,02 °C Sensor Suhu 2 = 39,12 °C	Off	104
5	Api Sedang, Sudut I, Atas	14:07:00 - 14:09:00	Sensor Asap 1 = 11 ppm Sensor Asap 2 = 12 ppm Sensor Suhu 1 = 37,68 °C Sensor Suhu 2 = 38,64 °C	Sensor Asap 1 = 43 ppm Sensor Asap 2 = 33 ppm Sensor Suhu 1 = 42,39 °C Sensor Suhu 2 = 43,05 °C	Off	35

Tabel 13 Respons Sistem Api Padam Dengan Api Besar

No	Case	Waktu Mulai	Pembacaan Awal	Kondisi Akhir Api		
				Pembacaan	Keterangan	Waktu Respons (s)
1	Api Besar, Sudut B, Bawah	14:22:00 - 14:24:00	Sensor Asap 1 = 16 ppm Sensor Asap 2 = 15 ppm Sensor Suhu 1 = 37,18 °C Sensor Suhu 2 = 36,67 °C	Sensor Asap 1 = 73 ppm Sensor Asap 2 = 93 ppm Sensor Suhu 1 = 38,86 °C Sensor Suhu 2 = 39,11 °C	On	0
2	Api Besar, Sudut I, Bawah	14:30:00 - 14:32:00	Sensor Asap 1 = 10 ppm Sensor Asap 2 = 7 ppm Sensor Suhu 1 = 38,11 °C Sensor Suhu 2 = 38,05 °C	Sensor Asap 1 = 88 ppm Sensor Asap 2 = 96 ppm Sensor Suhu 1 = 39,80 °C Sensor Suhu 2 = 41,55 °C	On	0
3	Api Besar, Sudut G, Atas	14:44:00 - 14:46:00	Sensor Asap 1 = 38 ppm Sensor Asap 2 = 35 ppm Sensor Suhu 1 = 36,40 °C Sensor Suhu 2 = 37,51 °C	Sensor Asap 1 = 53 ppm Sensor Asap 2 = 61 ppm Sensor Suhu 1 = 37,92 °C Sensor Suhu 2 = 39,12 °C	Off	50
4	Api Besar, Sudut I, Tengah	14:51:00 - 14:53:00	Sensor Asap 1 = 27 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 36,29 °C Sensor Suhu 2 = 37,57 °C	Sensor Asap 1 = 46 ppm Sensor Asap 2 = 40 ppm Sensor Suhu 1 = 39,29 °C Sensor Suhu 2 = 44,67 °C	Off	28
5	Api Besar, Sudut I, Atas	15:00:00 - 15:02:00	Sensor Asap 1 = 33 ppm Sensor Asap 2 = 22 ppm Sensor Suhu 1 = 35,39 °C Sensor Suhu 2 = 36,20 °C	Sensor Asap 1 = 31 ppm Sensor Asap 2 = 30 ppm Sensor Suhu 1 = 37,80 °C Sensor Suhu 2 = 41,89 °C	Off	20

Tabel 13 respons sistem api padam dengan api besar, bertujuan untuk mengevaluasi kinerja gabungan sistem pompa dan *sprinkler*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *case* 1 dan 2 belum berhasil memadamkan api dalam durasi pengujian. Sementara pada *case* 3, 4 dan 5 api berhasil dipadamkan sepenuhnya, pada *case* 3 api berhasil padam pada detik 50, dan pada *case* 4 api berhasil padam pada detik 28 serta pada *case* 5 api berhasil padam pada detik 20. Menunjukkan bahwa sistem gabungan mampu bekerja efektif, terutama ketika distribusi semprotan air menjangkau titik api dengan baik. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem gabungan pompa dan *sprinkler* memiliki efektivitas yang baik, pemadaman tergantung pada posisi *sprinkler* dan distribusi air.

G. Hasil Pengujian Respons Sistem Pompa Backup

Selain pompa utama, sistem pemadam kebakaran juga dilengkapi dengan pompa *backup* yang berfungsi untuk menambah daya tekanan apabila pompa utama tidak mampu mencapai tekanan yang telah ditentukan. Pompa *backup* ini bekerja secara otomatis melalui pengendalian PLC. Pengujian ini berfungsi untuk memastikan bahwa sistem tetap dapat beroperasi secara efektif meskipun pompa utama tidak mencapai kinerja yang diharapkan. Pengujian dilakukan untuk menilai kemampuan sistem pompa *backup* dalam menyesuaikan tekanan dengan cepat dan akurat selama kondisi darurat.

Tabel 14 Pengujian Respons Sistem Pompa Backup

Tekanan Awal	Pompa Utama	Tekanan Pompa Utama (Bar)	Tekanan Saat Turun (Bar)	Waktu Respon Pompa Backup (s)	Tekanan Akhir (Bar)
0	On	1,05	0,94	0,5	1,17

Tabel 14 merupakan respons sistem pompa *backup*, dapat dilihat bahwa sistem ini bekerja dengan baik dalam mengatasi penurunan tekanan. Pada kondisi awal, tekanan sistem berada pada 0 Bar karena pompa utama belum aktif. Ketika pompa utama mulai beroperasi, tekanan meningkat menjadi 1,05 bar. Lalu untuk menguji pompa diturunkan *setting point* dan tekanan mengalami penurunan sampai 0,94 bar. Penurunan tekanan terdeteksi, sistem pompa *backup* bekerja. Pompa *backup* mampu meningkatkan tekanan meningkat hingga mencapai 1,17 bar. Selisih antara tekanan akhir dan tekanan saat turun adalah:

$$1,17 \text{ bar} - 0,95 \text{ bar} = 0,23 \text{ bar}$$

Hal ini menunjukkan bahwa pompa *backup* mampu meningkatkan tekanan sebesar 0,23 bar. Jika dilihat dari segi persentase, peningkatan ini sebesar:

$$\left(\frac{0,23 \text{ bar}}{1,05 \text{ bar}} \right) \times 100\% = 21,90\%$$

Saat pompa utama aktif dan pompa *backup* aktif tekanan menjadi 1,17 bar menunjukkan kenaikan sebesar 21,90%

dari tekanan saat penurunan, menunjukkan bahwa sistem pompa *backup* berfungsi dengan baik.

IV KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali yang dirancang menggunakan *ladder diagram* dengan tiga bagian utama operasi: pada operasi *conversion* mengubah nilai integer ke bilangan *real*, pada operasi *division* mengubah dari nilai *analog* ke nilai *real* dan pada operasi *main logic* mengontrol aktivasi pompa dan alarm.
2. Implementasi sistem kendali PLC dilakukan melalui kontrol panel yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti: PLC Fultek CPU ONE, *power supply*, ESP32, *relay*, dan *terminal block* serta komponen *interface* seperti *pilot lamp*, *pushbutton* dan *emergency stop*.
3. Sistem kendali secara otomatis mengaktifkan pompa utama dalam waktu kurang dari 1 detik, sprinkler dengan keterlambatan sekitar 1 detik setelah pompa aktif saat sensor asap mendeteksi ≥ 80 ppm dan sensor suhu $\geq 40^{\circ}\text{C}$ dan menyalakan alarm selama 5 detik.
4. Pada saat tekanan sistem turun dibawah setting point, sistem kendali SPALIC memicu pompa backup untuk menaikkan tekanan pompa *backup* mampu meningkatkan tekanan mencapai 21,90% dari tekanan menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera, atas dukungan fasilitas, arahan akademik, serta kesempatan yang diberikan selama proses pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Sowah, K. Apeadu, F. Gatsi, K. O. Ampadu, and B. S. Mensah, "Hardware Module Design and Software Implementation of Multisensor Fire Detection and Notification System Using Fuzzy Logic and Convolutional Neural Networks (CNNs)," *J. Eng. (United Kingdom)*, 2020.
- [2] Prima Imansyah Permana, "60 Kebakaran Terjadi Selama 2022, Begini Himbauan BPBD," Radar Lampung.
- [3] T. O. Argarini, "Strategi Pengurangan Risiko Bencana Kebakaran di Kawasan Permukiman Padat Melalui Peningkatan Kapasitas Masyarakat di Kapas Madya Baru," 2020. doi: 10.12962/j2716179x.v15i2.7509.
- [4] S. Setianingsih, G. S. Setianingrum, L. E. Darwati, and R. Anggraeni, "Pengetahuan dan Sikap Civitas Akademika Mengenai Resiko Bencana Kebakaran Kampus," *J. Penelit. Perawat Prof.*, vol. 5, no. 3, pp. 905–914, 2023, doi: 10.37287/jppp.v5i3.1630.
- [5] G. P. M. Pinto, D. Setyanto, and A. D. Soewono, "Instalasi Proteksi Kebakaran pada Gedung Laboratorium Menggunakan Detektor Panas dan Detektor Asap," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 3, pp. 1343–1353, 2024.
- [6] Enjel Rosiana and Mohammad Fatkhurrohman, "Analisis Cara Kerja Fire Alarm System di Gedung Nusantara I DPR RI," *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 4, pp. 11–26, 2023.
- [7] R. S. Decky Kuncoro, Rizki Apriliyanti, "IIPA - The Indonesian Journal of Public Administration Volume 10 | Nomor 01| Juni 2024," *IIPA - Indones. J. Public Adm.*, vol. 11, no. 1, pp. 98–109, 2024.
- [8] F. A. Putri, R. Prawira, and M. L. Ashari, "Analisis Sistem Pencegahan Dan Penanggulangan Kebakaran di Perusahaan Peleburan Baja," *J. Student Res.*, vol. 1, no. 6, pp. 494–502, 2023.
- [9] U. S. Budi Herdiana, Eko Budi Setiawan, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–193, 2023.
- [10] I. H. Kurniawan, A. Haryanto, and L. Hayat, "Penerapan Otomasi Industri Berbasis Programmable Logic Controller untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision Implementation of Industrial Automation Based on Programmable Logic Controller for Sorting Goods Based on Color Using Vi," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 177–182, 2024.
- [11] D. Hariyanto, S. Sabar, K. Pertiwi, A. Afriansyah, M. R. Hikmatullah, and L. O. Arham, "Model Ruang Penyimpanan Makanan Berbasis PLC sebagai Media Pembelajaran Aplikasi Instrumentasi dan Automasi," *J. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 8, no. 1, pp. 50–58, 2023.
- [12] T. Santiko, M. S. Heriawan, and M. T. Pujiyanto, "Pengembangan Alat Peraga Fire Alarm Berbasis PLC dengan Dikoversi Arduino sebagai Media Pembelajaran Taruna PIP Makassar," *J. Kependidikan*, vol. 13, no. 4, pp. 4347–4356, 2024.
- [13] G. D. Avreliyanda and R. P. Astutik, "Fire Alarm System Design Based on PLC Pi Pico at MCC XYZ Company," vol. 6, no. 2, 2024.
- [14] M. Ruslan and M. S. Al Amin, "Perancangan Sistem Fire Alarm Kebakaran Pada Gedung Laboratorium XXX," vol. 18, pp. 51–61, 2021.
- [15] E. Iskandar, M. Rameli, and W. Ramadhan, "Ladder Diagram Design Based on Huffman Method for Selection and Assembling Part on Dual Conveyor Plant," *Proceeding - 2018 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2018*, vol. 2, no. 2, pp. 391–396, 2018.

BIODATA PENULIS



Muhammad Khoirul Annam merupakan seorang mahasiswa Teknik Elektro di Institut Teknologi Sumatera angkatan 2021. Memiliki fokus pada bidang kontrol sistem dan otomasi industri, khususnya dalam pemrograman PLC, sistem SCADA, dan *Internet of Things* (IoT).

Selain itu, aktif sebagai Asisten Praktikum di Jurusan Teknik Elektro.