

# SISTEM KENDALI ONLINE BERBASIS IOT UNTUK MANIFOLD TABUNG OKSIGEN DENGAN PEMANTAUAN REAL-TIME DAN INTEGRASI ALARM

## *IOT-BASED ONLINE CONTROL SYSTEM FOR OXYGEN CYLINDER MANIFOLD WITH REAL-TIME MONITORING AND ALARM INTEGRATION*

**Abdul Haris Kuspranoto<sup>1</sup>, Zulkhairi<sup>2</sup>, Rodhiyah Mardhiyyah<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> Teknik Elektromedik, Politeknik Bina Trada Semarang Jl. Sambiroto Raya No.64-D, Sambiroto, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Indonesia 50276

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta

<sup>3)</sup> Program Studi Teknik Komputer, Universitas Teknologi Yogyakarta

Alamat korespondensi: [abdulhariskuspranoto@polbitrada.ac.id](mailto:abdulhariskuspranoto@polbitrada.ac.id)

### **Abstrak**

Penelitian ini mengembangkan sistem kendali online berbasis Internet of Things (IoT) untuk manifold tabung oksigen di fasilitas medis. Sistem ini memanfaatkan sensor tekanan, modul ESP32, dan platform cloud guna memantau tekanan oksigen secara real-time. Misalnya, sensor tekanan yang digunakan dapat secara akurat mengukur tekanan oksigen dalam tabung dan mentransfer data ke modul ESP32 untuk diproses. Kemudian, data tersebut dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke dashboard web dan aplikasi mobile. Contohnya, petugas medis dapat dengan mudah memantau tekanan oksigen dari smartphone mereka, bahkan ketika mereka tidak berada di ruangan yang sama dengan tabung oksigen tersebut. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan mekanisme alarm otomatis melalui Notification App apabila terjadi anomali seperti penurunan tekanan atau kebocoran. Sebagai contoh, jika tekanan oksigen dalam tabung menurun di bawah batas yang aman, Notification App akan secara otomatis memberikan peringatan kepada petugas medis untuk segera mengambil tindakan. Hasil uji coba menunjukkan respons waktu kurang dari 4 detik dan tingkat akurasi sensor  $\pm 2\%$ . Dengan respons waktu yang cepat dan tingkat akurasi yang tinggi, sistem ini dapat memberikan informasi yang tepat waktu dan akurat kepada petugas medis. Sistem ini menawarkan solusi yang ekonomis dan skalabel untuk meningkatkan efisiensi serta keselamatan distribusi gas oksigen di rumah sakit. Sebagai tambahan, implementasi sistem ini dapat mengurangi biaya operasional dalam pemantauan tabung oksigen secara manual, sehingga menghemat waktu dan sumber daya. Dengan adopsi teknologi IoT dalam pengelolaan oksigen di fasilitas medis, rumah sakit dapat meningkatkan kualitas layanan pasien dan memastikan ketersediaan oksigen yang cukup secara konsisten.

Kata kunci: Manifold oksigen, IoT, pemantauan *real-time*, alarm otomatis, kontrol jarak jauh

### **Abstract**

*Accurate This research develops an Internet of Things (IoT)-based online control system for oxygen cylinder manifolds in medical facilities. This system utilizes pressure sensors, ESP32 modules, and cloud platforms to monitor oxygen pressure in real-time. For example, the pressure sensor used can accurately measure the oxygen pressure in the cylinder and transfer the data to the ESP32 module for processing. Then, the data is sent via Wi-Fi network to a web dashboard and mobile application. For example, medical personnel can easily monitor oxygen pressure from their smartphones, even when they are not in the same room as the oxygen cylinder. In addition, this system is equipped with an automatic alarm mechanism via the Notification App if an anomaly occurs such as a decrease in pressure or leakage. For example, if the oxygen pressure in the cylinder drops below a safe limit, the Notification App will automatically alert medical personnel to take immediate action. The test results showed a response time of less than 4 seconds and a sensor accuracy rate of  $\pm 2\%$ . With fast response time and high accuracy, the system can provide timely and accurate information to medical personnel. The system offers an economical and scalable solution to improve the efficiency and safety of oxygen gas distribution in hospitals. In*

*addition, the implementation of this system can reduce operational costs in manual monitoring of oxygen cylinders, saving time and resources. By adopting IoT technology in oxygen management in medical facilities, hospitals can improve the quality of patient care and ensure sufficient oxygen availability consistently.*

*Keywords: Oxygen manifold, IoT, real-time monitoring, automatic alarms, remote control*

## **Pendahuluan**

Dalam dunia pelayanan kesehatan, pasokan oksigen medis merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung kehidupan pasien, terutama pada unit gawat darurat, ruang ICU, dan fasilitas perawatan intensif lainnya. Oksigen biasanya disimpan dalam bentuk gas bertekanan tinggi di dalam tabung dan didistribusikan melalui sistem manifold untuk memastikan kelangsungan pasokan secara kontinu. Sistem manifold berfungsi sebagai penghubung antara beberapa tabung oksigen sehingga dapat beralih secara otomatis atau manual ketika tabung utama habis. Dalam praktiknya, pemantauan tekanan dan aliran gas masih banyak dilakukan secara manual, sehingga rentan terhadap kesalahan manusia dan keterlambatan respons saat terjadi kebocoran atau tekanan menurun(1)(2)(3)(4).

Masalah utama dalam sistem manifold tabung oksigen konvensional adalah kurangnya kemampuan pemantauan secara real-time serta minimnya sistem notifikasi dini. Petugas medis atau teknisi sering kali harus melakukan inspeksi fisik berkala untuk memastikan kondisi tekanan tabung tetap stabil(5)(6)(7). Hal ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga meningkatkan risiko terjadinya gangguan pasokan akibat keterlambatan deteksi masalah seperti penurunan tekanan, kebocoran, atau kerusakan katup. Selain itu, dalam situasi pandemi atau kejadian darurat, jumlah permintaan oksigen yang meningkat secara tiba-tiba dapat menyebabkan sistem menjadi overload jika tidak ada mekanisme kontrol otomatis yang memadai(8)(9)(10).

Sebagai contoh, dalam sebuah rumah sakit yang mengandalkan sistem manifold tabung oksigen konvensional, petugas harus secara manual memeriksa setiap tabung secara berkala untuk memastikan tidak ada masalah. Hal ini tidak hanya menuntut tenaga dan waktu, tetapi juga meningkatkan risiko kesalahan manusia yang dapat berdampak fatal. Dengan adanya sistem pemantauan real-time dan notifikasi dini yang lebih canggih, seperti sensor tekanan otomatis yang terhubung ke sistem komputer, petugas dapat dengan mudah melacak kondisi tabung oksigen dan mendapatkan peringatan jika terjadi anomali(10)(11).

Selain memperbaiki efisiensi dan keamanan, teknologi yang lebih canggih dalam sistem manifold tabung oksigen juga dapat membantu mengantisipasi lonjakan permintaan yang tiba-tiba(11)(12). Misalnya, selama musim flu yang

parah atau bencana alam, permintaan oksigen dapat melonjak secara dramatis. Dengan sistem kontrol otomatis yang dapat menyesuaikan pasokan dan mendeteksi kebutuhan tambahan, rumah sakit atau pusat kesehatan dapat mengelola pasokan oksigen dengan lebih efektif dan mengurangi risiko kehabisan stok saat dibutuhkan. Dengan demikian, investasi dalam teknologi pemantauan dan kontrol yang lebih baik dalam sistem manifold tabung oksigen dapat membawa manfaat besar dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan dan keselamatan pasien(12).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang besar dalam transformasi sistem distribusi gas medis, termasuk pada pengelolaan manifold tabung oksigen. Melalui integrasi sensor tekanan, mikrokontroler, dan platform cloud, sistem dapat dikembangkan untuk memberikan pemantauan jarak jauh, notifikasi alarm otomatis, serta kontrol katup secara real-time(13)(14). Salah satu sensor tekanan yang dapat digunakan dalam sistem ini adalah Pressure Transducer Transmitter Sensor G1/4 1/4" 1-30 MPa, yang memiliki akurasi tinggi dan kompatibel dengan berbagai jenis mikrokontroler seperti ESP32(15). Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak tersebut memungkinkan sistem mengirimkan data tekanan secara online ke dashboard web atau aplikasi mobile, sehingga memudahkan petugas dalam memantau dan mengelola pasokan oksigen dari mana saja(16).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali online berbasis IoT untuk manifold tabung oksigen yang dilengkapi dengan fitur pemantauan real-time dan notifikasi otomatis. Sistem dirancang menggunakan sensor tekanan, mikrokontroler ESP32, modul relay, dan platform cloud seperti Firebase. Dengan sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko human error, serta meningkatkan keandalan pasokan oksigen di fasilitas kesehatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem distribusi gas medis yang lebih cerdas dan terintegrasi.

## **Metode**

### **a. Prosedur Kerja**

Penelitian ini mengembangkan sistem kendali

online berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan tekanan pada manifold tabung oksigen di lingkungan medis. Sistem dirancang untuk memantau tekanan secara real-time, memberikan notifikasi otomatis jika terjadi anomali seperti penurunan tekanan atau kebocoran, serta memungkinkan kontrol jarak jauh melalui dashboard web dan aplikasi mobile(17)(18).

Prosedur kerja penelitian ini terdiri dari beberapa tahap utama:

- 1) Perancangan sistem hardware , termasuk pemilihan komponen elektronik dan penyusunan diagram rangkaian.
- 2) Pemrograman mikrokontroler ESP32 untuk membaca data sensor, mengirimkan data ke platform cloud, dan mengaktifkan alarm jika diperlukan.
- 3) Implementasi dashboard berbasis Blynk dan Firebase sebagai antarmuka pengguna untuk visualisasi data tekanan dan status sistem.
- 4) Pengujian dan validasi sistem dalam kondisi simulasi penggunaan tabung oksigen.

Setiap tahapan dilakukan secara bertahap dan divalidasi sebelum beralih ke tahap selanjutnya.

#### **b. Alat dan Bahan**

Untuk membangun sistem ini digunakan beberapa perangkat keras dan lunak sebagai berikut:

##### **1. Hardware**

- a) Sensor Tekanan : Pressure Transducer Transmitter Sensor G1/4 1/4", rentang pengukuran 1–30 MPa. Sensor ini menghasilkan output analog berupa tegangan listrik sebanding dengan tekanan yang diukur.
- b) Mikrokontroler : ESP32 DEVKIT V1 sebagai pusat pengolahan data dan modul komunikasi Wi-Fi.
- c) Modul Relay : Relay module 2-channel untuk mengontrol katup solenoid secara otomatis.
- d) LCD Display : LCD 16x2 karakter dengan I2C untuk menampilkan informasi lokal.
- e) Buzzer : Alarm akustik untuk indikator lokal saat terjadi kondisi darurat.
- f) Power Supply : Adaptor 5V/2A dan baterai cadangan untuk menjaga kelangsungan operasi saat mati listrik.
- g) Rangkaian Tambahan : Resistor pembagi tegangan, kapasitor, kabel jumper, dan PCB prototipe.

##### **2. Software**

1. Arduino IDE untuk pemrograman ESP32.
2. App berbasis app inventor sebagai platform IoT untuk visualisasi data dan kontrol remote.
3. Firebase Realtime Database untuk penyimpanan data historis.

#### **c. Etika**

Penelitian ini tidak melibatkan subjek manusia atau hewan. Seluruh aktivitas penelitian bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium teknik elektromedik. Semua alat dan bahan yang digunakan telah diperoleh secara legal dan sesuai standar keselamatan kerja di laboratorium.

#### **d. Statistik**

Analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan stabilitas sistem dalam pengukuran tekanan oksigen. Data yang dikumpulkan selama pengujian mencakup nilai tekanan aktual dari manometer sebagai referensi, serta nilai tekanan yang dibaca oleh sistem berbasis sensor.

#### **e. Alur Kerja Sistem**

##### **a) Pemantauan Tekanan :**

Sensor tekanan berfungsi untuk mengukur tekanan oksigen di dalam tabung. Data mengenai tekanan tersebut dikirimkan ke ESP32 melalui pin ADC. ESP32 kemudian melakukan konversi dari data analog menjadi digital dan menampilkan hasilnya pada Layar LCD 1 dan Layar LCD 2.

##### **b) Pengiriman Data ke Cloud :**

ESP32 mengirimkan data tekanan ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi. Data tersebut disimpan dalam basis data Firebase untuk analisis historis yang mendalam.

##### **c) Notifikasi Otomatis :**

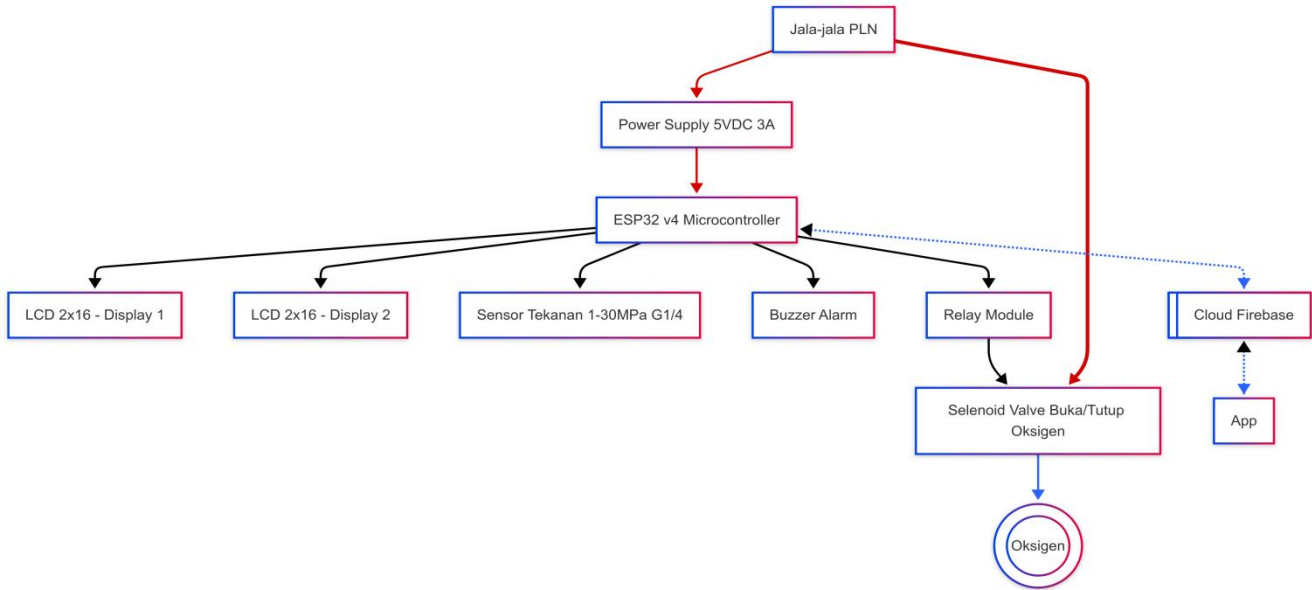
Apabila tekanan menurun di bawah ambang batas yang telah ditetapkan, ESP32 akan mengaktifkan Alarm Buzzer dan mengirimkan notifikasi ke aplikasi mobile melalui Firebase. Notifikasi tersebut dapat disampaikan dalam bentuk aplikasi atau email menggunakan layanan Extended App Inventor iToo.

##### **d) Kontrol Jarak Jauh :**

Pengguna dapat mengakses aplikasi mobile untuk memantau tekanan oksigen secara real-time. Melalui aplikasi tersebut, pengguna dapat mengirimkan instruksi kepada ESP32 melalui Firebase untuk mengaktifkan atau menonaktifkan katup solenoid(19).

##### **e) Pengendalian Katup Solenoid :**

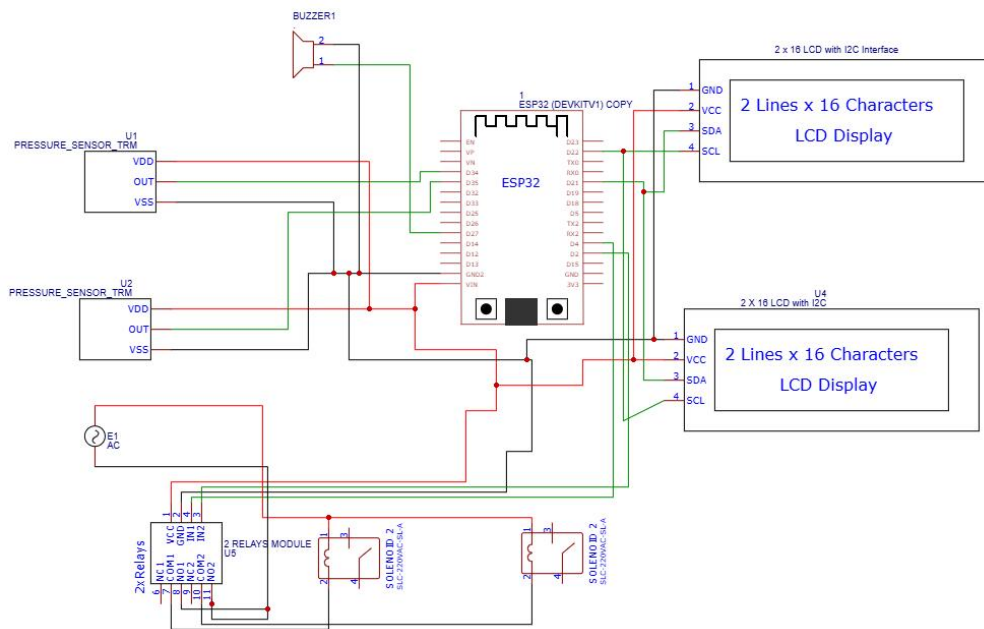
ESP32 mengirimkan sinyal kepada Modul Relay untuk mengendalikan Katup Solenoid. Katup solenoid berfungsi untuk membuka atau menutup sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh ESP32. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1. Blok Diagram Sistem**

Pada Gambar 2 merupakan skematik Sistem kendali IoT yang dirancang untuk pemantauan tekanan oksigen pada manifold tabung oksigen terdiri dari berbagai komponen elektronik dan perangkat lunak yang saling terhubung secara logis. Sistem ini bertujuan untuk memastikan pengelolaan gas oksigen yang aman, efisien, dan dapat dikontrol jarak jauh melalui teknologi IoT. Sistem ini dirancang untuk memberikan pemantauan tekanan oksigen yang akurat, cepat, dan

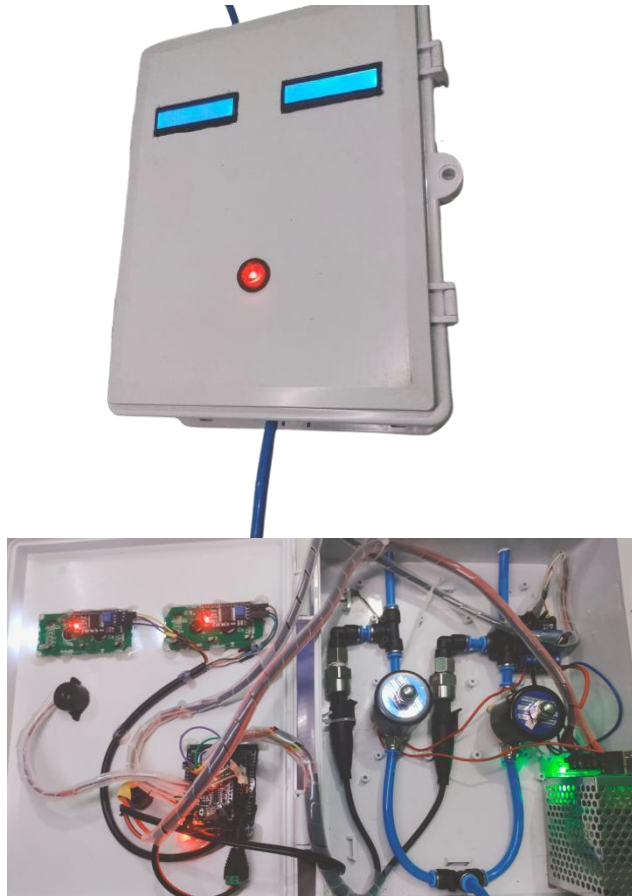
aman. Dengan integrasi IoT melalui ESP32, Firebase, dan aplikasi mobile, sistem ini memungkinkan kontrol jarak jauh, pemantauan real-time, dan notifikasi otomatis yang sangat penting dalam lingkungan medis. Selain itu, penggunaan komponen open-source seperti ESP32 dan Firebase membuat sistem ini hemat biaya dan mudah diperluas untuk aplikasi lebih lanjut(20). skematik rangkaian bisa dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2. Skematik Sistem**

## Hasil

Sistem kendali online berbasis IoT untuk manifold tabung oksigen telah berhasil dibangun dan diuji coba. Pada bagian ini disajikan hasil pengujian sistem secara terstruktur dalam bentuk diagram blok, tampilan dashboard, tabel akurasi sensor, respons waktu sistem, serta hasil uji alarm otomatis.



**Gambar 3. Realisasi Sistem Manifold Otomatis**

Pada gambar diatas menggambarkan sistem kendali IoT yang dirancang. Sensor tekanan G1/4 digunakan untuk mendeteksi tekanan oksigen dalam tabung. Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolah data sekaligus modul komunikasi nirkabel. Modul relay digunakan untuk mengendalikan aliran gas secara otomatis. Informasi tekanan juga ditampilkan melalui LCD 2x16 karakter. Selain itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai indikator lokal dan notifikasi pada app via Firebase sebagai notifikasi jarak jauh.

Pada Gambar 4 ditampilkan antarmuka dashboard berbasis web yang dapat diakses melalui perangkat mobile maupun desktop. Dashboard ini menampilkan tekanan oksigen secara real-time, grafik tekanan historis, serta

status katup dan alat. Selain itu, sistem memberikan notifikasi visual jika terjadi anomali seperti penurunan tekanan atau kebocoran. Juga menampilkan mana aliran yang sedang bekerja bagian kiri (*Left*) atau bagian kanan (*Right*)

No ID  Ruang/Unit

NoID  Ruang/unit

Data Monitoring Manifold Oksigen					
ID	Tanggal	Waktu	Pressure (R)	Pressure (L)	R/L
0	8 JUN 2025	00:00:00:00			0
					0

**Gambar 4. Tampilan Dashboard Web yang Memperlihatkan Status Tekanan Oksigen dan Riwayat Data**

## Uji Fungsi Hasil Alat

Uji fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah alat sudah dapat berfungsi dengan baik dan aman. Pada pengujian prototipe manifold gas oksigen ini menggunakan gas oksigen untuk melakukan uji fungsi. Hasil Uji Performa atau Fungsional alat dapat ditunjukkan pada penjelasan berikut.

**Tabel 1. Hasil Uji Fungsi Hasil Setting Tekanan pada Alat dan Tabung Oksigen 1.**

No	Setting Regulator Setelah di konversi (Bar)	Hasil Pengukuran				
		(Bar)			Rata-rata (Bar)	Korektor
		1	2	3		
1	2,0	1,98	1,95	2,1	2,01	0,01
2	2,5	2,53	2,59	2,6	2,57	0,07
3	3,0	2,91	2,96	2,9	2,92	0,07
4	3,5	3,47	3,42	3,45	3,44	0,06
5	4,0	4,05	4,07	4,1	4,07	0,07

Uji fungsi Sensor 1 dan uji fungsi Sensor 2 dilaksanakan dengan menggunakan alat pembanding, yaitu alat ukur tekanan yang dilengkapi dengan regulator oksigen. Setiap pengaturan tekanan dilakukan dengan tiga kali pengukuran pada nilai 2 bar, 2.5 bar, 3 bar, 3.5 bar, dan 4 bar.

**Tabel 2. Hasil Uji Fungsi Hasil Setting Tekanan pada Alat dan Tabung Oksigen 2.**

No	Setting Regulator Setelah di konversi (Bar)	Hasil Pengukuran (Bar)			Rata-rata (Bar)	Korektor
		1	2	3		
		1	2,0	1,95		
2	2,5	2,48	2,58	2,7	2,58	0,08
3	3,0	2,94	2,93	3,1	2,99	0,01
4	3,5	3,46	3,42	3,45	3,44	0,06
5	4,0	4,05	4,09	4,1	4,08	0,08

**Tabel 3. Respons Waktu Sistem terhadap Anomali**

Jenis Anomali	Waktu deteksi(detik)	Waktu Notifikasi(detik)
Penurunan tekanan	2,8	4,0
Kebocoran katup	2,9	4,1
Overpressure	2,7	3,9

Sistem menunjukkan waktu respons rata-rata kurang dari 4 detik setelah kondisi anomali terdeteksi. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan respon cepat dan tepat, sehingga meningkatkan keselamatan pasien dalam situasi darurat.

#### Uji Alarm Otomatis

Sistem alarm berhasil bekerja sesuai dengan skenario uji coba. Berikut hasil pengujian:

- Notif : Semua pesan berhasil terkirim dalam waktu < 4 detik saat anomali terdeteksi.
- Buzzer : Aktif secara langsung saat tekanan turun di bawah batas minimum.

#### Stabilitas Sistem dan Riwayat Data

Data tekanan oksigen selama 12 jam operasi normal direkam dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada dashboard. Fluktuasi tekanan tidak melebihi  $\pm 2\%$ , menunjukkan bahwa sistem stabil dan siap untuk diimplementasikan dalam lingkungan klinis.

#### Uji Fungsi Aplikasi Manifold

merupakan hasil pengujian manifold di mana kondisi dari selenoid primer akan membuka terlebih dahulu jika kedua tabung di beri tekanan yang sama, lalu selenoid sekunder dalam posisi tertutup. Jika selenoid primer memiliki tekanan di bawah 3 bar maka secara otomatis selenoid sekunder akan terbuka dan selenoid primer akan tertutup, lalu akan muncul notifikasi jika tabung satu tertutup, jika kedua tabung

habis maka *buzzer* akan berbunyi dan aplikasi mengirimkan notif.

**Tabel 4. Uji Fungsi Hasil Setting Tekanan Pada Kedua Selenoid**

NO	Setting Regulator (Bar)	Tabung L (Sekunder)	Kondisi selenoid primer	Kondisi Seneloid sekunder	Keterangan di aplikasi
1	4 bar	4 bar	on	off	L
2	2.7 bar	4 bar	off	On	R
3	2.7 bar	2.7 bar	off	off	-

Hasil Tabel di atas merupakan hasil pengujian manifold di mana kondisi dari selenoid primer akan membuka terlebih dahulu jika kedua tabung di beri tekanan yang sama, lalu selenoid sekunder dalam posisi tertutup. Jika selenoid primer memiliki tekanan di bawah 3 bar maka secara otomatis selenoid sekunder akan terbuka dan selenoid primer akan ter tutup, lalu akan muncul notifikasi jika tabung satu tertutup, jika kedua tabung habis maka *buzzer* akan berbunyi dan aplikasi mengirimkan notif.

#### Pembahasan

Sistem kendali IoT yang dikembangkan berhasil memenuhi tujuan awal yaitu memantau tekanan oksigen secara real-time dan mengirimkan notifikasi otomatis dalam waktu singkat. Akurasi sensor tekanan sebesar  $\pm 2\%$  menunjukkan performa yang memadai untuk aplikasi medis. Respons waktu kurang dari 4 detik memastikan bahwa sistem dapat mendeteksi anomali dengan cepat, sehingga mengurangi risiko kekurangan oksigen bagi pasien.

Perbandingan dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem ini lebih hemat biaya karena menggunakan komponen open-source dan mudah diperluas untuk mendukung lebih banyak tabung oksigen. Selain itu, integrasi IoT memungkinkan kontrol jarak jauh melalui perangkat seluler, yang sangat relevan dalam situasi darurat atau pandemi.

Namun, beberapa keterbatasan masih perlu diperhatikan, seperti ketergantungan pada koneksi internet untuk fungsi penuh sistem. Untuk mengatasi hal ini, rekomendasi masa depan termasuk implementasi backup power supply dan penyimpanan lokal data.

#### Kesimpulan

Sistem kendali berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini telah berhasil menunjukkan kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi serta keselamatan proses distribusi oksigen di fasilitas medis. Dengan

memanfaatkan sensor tekanan jenis Pressure Transducer Transmitter Sensor, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data, serta platform cloud seperti Blynk dan Firebase, sistem mampu melakukan pemantauan tekanan secara real-time dan memberikan notifikasi otomatis kepada petugas jika terjadi anomali.

Dalam pengujian sistem, akurasi sensor tekanan mencapai  $\pm 2\%$ , dengan respons waktu kurang dari 4 detik untuk setiap perubahan kondisi. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat mendeteksi penurunan tekanan atau kebocoran dengan cepat, sehingga meminimalkan risiko terganggunya pasokan oksigen ke pasien. Selain itu, integrasi modul relay memungkinkan kontrol terhadap katup manifold secara otomatis, misalnya untuk menutup aliran gas saat terdeteksi overpressure atau kebocoran.

Antarmuka dashboard berbasis web dan mobile yang dibangun menggunakan platform Blynk memudahkan operator medis untuk mengakses informasi tekanan, status aliran, dan riwayat data dari tabung oksigen secara jarak jauh. Notifikasi melalui Aplikasi juga telah terintegrasi dengan baik, memastikan bahwa petugas tetap mendapat informasi kritis meskipun tidak sedang memantau dashboard secara langsung.

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan, sistem ini menunjukkan performa yang stabil dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi operasional. Penggunaan komponen open-source seperti ESP32 dan sensor tekanan dengan harga terjangkau menjadikan sistem ini solusi hemat biaya yang mudah diterapkan di rumah sakit, klinik, maupun instalasi gawat darurat. Desain modular memungkinkan ekspansi sistem untuk mengelola lebih dari satu tabung oksigen sekaligus, menjadikannya bersifat skalabel.

Implikasi dan Rekomendasi Aplikasi Sistem Penerapan sistem kendali IoT ini memiliki implikasi signifikan dalam meningkatkan manajemen gas medis di fasilitas kesehatan. Dengan adanya monitoring dan kontrol jarak jauh, beban kerja petugas medis dapat berkurang karena tidak perlu melakukan inspeksi manual secara berkala. Selain itu, sistem ini dapat berkontribusi pada peningkatan keselamatan pasien, terutama dalam situasi kritis di mana ketersediaan oksigen harus selalu terjamin.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar sistem dilengkapi dengan fitur autentikasi pengguna, penyimpanan data lokal sebagai cadangan ketika koneksi internet terganggu, serta integrasi protokol MQTT untuk komunikasi IoT yang lebih efisien dan aman. Uji lapangan di lingkungan rumah sakit nyata juga sangat penting untuk mengevaluasi performa sistem dalam skala

penyempurnaan dan mengidentifikasi potensi peningkatan desain.

## Saran

Untuk penelitian kedepan, ada beberapa saran yang bisa dipertimbangkan:

1. Menambahkan fitur autentikasi multi-lapis untuk keamanan data merupakan langkah penting dalam mengamankan informasi sensitif. Misalnya, dengan memperkenalkan sistem autentikasi dua faktor, pengguna harus melewati lebih dari satu tahap verifikasi sebelum diizinkan mengakses data sensitif, meningkatkan tingkat keamanan secara signifikan. Selain itu, mengintegrasikan sistem dengan protokol MQTT untuk komunikasi IoT dapat memberikan manfaat yang besar. Contohnya, penggunaan MQTT memungkinkan perangkat IoT untuk berkomunikasi secara efisien dan dapat diandalkan, mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pertukaran data.
2. Untuk memastikan kinerja sistem dalam skala besar, uji coba lapangan di rumah sakit dilakukan. Dengan melakukan uji coba ini, dapat dipastikan bahwa sistem mampu menangani beban kerja yang tinggi dan memberikan performa yang optimal ketika digunakan dalam lingkungan yang sesungguhnya. Validasi performa dalam skala besar seperti ini sangat penting untuk memastikan kehandalan sistem dan mengidentifikasi potensi masalah yang mungkin muncul saat digunakan secara luas. Dengan demikian, langkah-langkah ini tidak hanya meningkatkan keamanan data dan efisiensi komunikasi IoT, tetapi juga memastikan bahwa sistem siap digunakan dalam skala yang lebih besar dan kompleks..

## Daftar Rujukan

1. Arora A, Hasan MMF. Flexible oxygen concentrators for medical applications. *Sci Rep* [Internet]. 2021;11(1):1–14. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93796-3>
2. Chen Y, Wang Q, Lei J, Liu Q, He W, Liu S, et al. Design and engineering application of medical oxygen supply system in novel coronavirus pneumonia treatment hospital. *J Build Eng* [Internet]. 2021;44:103170. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221010287>
3. Maggio G, Squadrato G, Nicita A. Hydrogen and medical oxygen by renewable energy based electrolysis: A green and economically viable route. *Appl Energy* [Internet]. 2022;306:117993. Available from:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921012964>
4. Saidu Y, Mbanga C, Mokom S, Frambo A, Diaby O, Battu A, et al. Building medical oxygen systems in a resource-limited setting: the case of Cameroon. *J Glob Health*. 2025;15:04087.
  5. Hendryani A, Nurdinawati V, Dharma N. Design of Manifold with Pressure Controller for Automatic Exchange of Oxygen Gas Cylinders in Hospital. 2021;42:45–51. Available from: <https://consensus.app/papers/design-of-manifold-with-pressure-controller-for-automatic-hendryani-nurdinawati/b2d087d5a91e5bffb38b0017e319fa2/>
  6. Suryadevara P, Muthulakshmi S. Oxygen Cylinders Monitoring System in Hospital Warehouse Using CNN. *Futur Commun Netw Technol* [Internet]. 2021; Available from: <https://consensus.app/papers/oxygen-cylinders-monitoring-system-in-hospital-warehouse-suryadevara-muthulakshmi/a70b109ecbb5540da578eef254f9873c/>
  7. Bhavani P. Real-Time Oxygen Cylinder Tracking System. *INTERANTIONAL J Sci Res Eng Manag* [Internet]. 2025; Available from: <https://consensus.app/papers/realtime-oxygen-cylinder-tracking-system-bhavani/b152745e5c2156d195452861908e8e08/>
  8. Vasilikis D, Karamanos S. Stability of confined thin-walled steel cylinders under external pressure. *Int J Mech Sci* [Internet]. 2009;51:21–32. Available from: <https://consensus.app/papers/stability-of-confined-thinwalled-steel-cylinders-under-vasilikis-karamanos/a692324fffa15deb947a8c530a7f6eb9/>
  9. Sharif M, Azam M. Stability of anisotropic cylinder with zero expansion. *Mon Not R Astron Soc* [Internet]. 2013;430:3048–53. Available from: <https://consensus.app/papers/stability-of-anisotropic-cylinder-with-zero-expansion-sharif-azam/8f1d6016bb7b5a7cb256fc5e2bf0ffa5/>
  10. Siwulski T. Experimental Tests on the Influence of Accumulated Pressure Energy on the Response Time of a Hydraulic Cylinder under External Load Actuated in a Classic and Distributed System Structure. *Energies* [Internet]. 2023; Available from: <https://consensus.app/papers/experimental-tests-on-the-influence-of-accumulated-siwulski/de630ddb0a0d51db87e71dce79b3e351/>
  11. Velicka J, Pies M, Hájovský R, Barnova K, Martínek R. Smart oxygen monitoring in hospitals: a pilot study during COVID-19. *Sci Rep* [Internet]. 2025;15. Available from: <https://consensus.app/papers/smart-oxygen-monitoring-in-hospitals-a-pilot-study-during-velicka-pies/480182f24cf4578f86ec15ee51267152/>
  12. Zhang L, Zheng Z, Xu Z, Chai Y. Optimal scheduling of oxygen system in steel enterprises considering uncertain demand by decreasing pipeline network pressure fluctuation. *Comput Chem Eng* [Internet]. 2022;160:107692. Available from: <https://consensus.app/papers/optimal-scheduling-of-oxygen-system-in-steel-enterprises-zhang-zheng/cba72728200b5607ab1ca2b8c88be545/>
  13. Aji N, Nugraha B, Mashoedah. Oxygen Availability Control and Monitoring System in Hospitals using IoT. *J Phys Conf Ser* [Internet]. 2021;2111. Available from: <https://consensus.app/papers/oxygen-availability-control-and-monitoring-system-in-aji-nugraha/221a80244be056089c8c27d8eda6c240/>
  14. Luo G, Luo H, Zhang J, Luo Y. Real-Time Deep Learning for Leaks Detection and Demands Prediction of Compressed Medical Gas Systems. 2023;503–18. Available from: <https://consensus.app/papers/realtime-deep-learning-for-leaks-detection-and-demands-luo-luo/6eeefc3b5520524cb9ebb5c6ef50624e/>
  15. Xu B, Xu L, Cai H, Xie C, Hu J, Bu F. Ubiquitous Data Accessing Method in IoT-Based Information System for Emergency Medical Services. *IEEE Trans Ind Informatics* [Internet]. 2014;10:1578–86. Available from: <https://consensus.app/papers/ubiquitous-data-accessing-method-in-iotbased-information-xu-xu/f9f088368ac553fca36a291f3faa1694/>
  16. Koca YB. Control and Monitoring Systems for Hospital Medical Gases. 2024 8th Int Artif Intell Data Process Symp [Internet]. 2024;1–4. Available from: <https://consensus.app/papers/control-and-monitoring-systems-for-hospital-medical-gases-koca/2a349e870de55af788c6bf57540c7729/>
  17. Rodrigues J, ChandraShekar R. Scalable, Cost Effective IoT Based Medical Oxygen

- Monitoring System for Resource Constrained Hospital Environment. 2022 Int Conf Distrib Comput VLSI, Electr Circuits Robot ( Discov [Internet]. 2022;293–8. Available from: <https://consensus.app/papers/scalable-cost-effective-iot-based-medical-oxygen-rodrigues-chandrashekar/923ca3fc414b51d7afa0bd0de490c348/>
18. Kumar A, Pathak P, Dwivedi VK, Sharma DK. IoT based oxygen level monitoring circuit for patient. 2024 3rd Int Conf Power Electron IoT Appl Renew Energy its Control [Internet]. 2024;439–43. Available from: <https://consensus.app/papers/iot-based-oxygen-level-monitoring-circuit-for-patient-kumar-pathak/23e14214e89b545897abcc1421520c74/>
19. Srihari D, Hemavathi K, Sreeveni P, Roopa S, Manasa V, Thejaswini Y. Smart Home and Thief Detection using AI. Int J Adv Res Sci Commun Technol [Internet]. 2024; Available from: <https://consensus.app/papers/smart-home-and-thief-detection-using-ai-srihari-hemavathi/b53c4e268b30539798cfc624b38e5002/>
20. Koushal A, Gupta R, Jan F, Kamaldeep K, Kumar V. Home Automation System Using ESP32 and Firebase. 2022 Seventh Int Conf Parallel, Distrib Grid Comput [Internet]. 2022;228–31. Available from: <https://consensus.app/papers/home-automation-system-using-esp32-and-firebase-koushal-gupta/e7c4a99a062c50f685ecdba6bbd54d22/>