

Pengembangan Penerapan Sensor dan Aktuator pada Modul Pembelajaran Sistem Kendali Perpipaan Berbasis IoT

Firmansyah^{1*}, Imam Ikhwan², Akhmad Taufik³ dan Paisal⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail korespondensi: firmandamyien@gmail.com

Abstract: The Internet of things (IoT)-based pipeline control system is an innovation that can be utilized in mechatronics engineering education, particularly for understanding the principles of sensors, actuators, and real-time fluid control systems. This research aims to design and implement an IoT-based learning module for pipeline control capable of monitoring and controlling water flow through integrated sensors. The system employs an ESP32 microcontroller as the main controller, connected to a water flow sensor, a pressure sensor, a DS18B20 temperature sensor, and an ultrasonic sensor. Sensor readings are transmitted to a server and visualized through an interactive website interface equipped with monitoring features, automatic and manual pump control, and historical data logging. The methodology includes literature studies, mechanical and electronic design, microcontroller programming, website development, and system testing. The mechanical design uses an aluminum profile frame to support all components, while the electronic design emphasizes neat wiring and ease of maintenance. Testing was conducted at three different valve openings (50%, 75%, and 100%) to analyze their effects on water level, volume, flow rate, temperature, and pressure parameters. The test results show that the system is able to operate accurately, stably, and responsively. The sensors provided readings consistent with actual conditions, with an average measurement error of 0.67% for the temperature sensor, 1.86% for the ultrasonic sensor, and 2.55% for the waterflow sensor. Data were displayed in real time on the website with an approximate delay of 2 seconds from the ESP32 transmission, and the manual pump control feature provided flexibility for users. With reliable detection capability and an interactive interface, this module is suitable to be used as a learning medium to enhance students' understanding of control systems and IoT, and it has the potential to be further developed for industrial applications.

Keywords: ESP32, Internet of things, Water Flow Sensor, Pressure Sensor, DS18B20 Temperature Sensor, Ultrasonic Sensor, Pipeline Control System, Website Monitoring.

Abstrak: Sistem kendali perpipaan berbasis *Internet of things* (IoT) merupakan salah satu inovasi yang dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran teknik mekatronika, khususnya untuk memahami prinsip kerja sensor, aktuator, dan sistem kendali fluida secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan modul pembelajaran sistem kendali perpipaan berbasis IoT yang mampu memantau dan mengendalikan aliran air menggunakan berbagai sensor terintegrasi. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor *waterflow*, sensor tekanan, sensor suhu DS18B20, dan sensor ultrasonik. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke server dan divisualisasikan melalui antarmuka *website* interaktif yang dilengkapi fitur pemantauan, kontrol pompa otomatis maupun manual, serta pencatatan data historis. Metodologi yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan mekanik dan elektronik, pemrograman mikrokontroler, pengembangan *website*, serta pengujian sistem. Perancangan mekanik menggunakan rangka aluminium profil sebagai penopang utama komponen, sedangkan perancangan elektronik menekankan kerapian pengkabelan dan kemudahan perawatan. Pengujian dilakukan pada tiga variasi bukaan katup (50%, 75%, dan 100%) untuk menganalisis pengaruhnya terhadap parameter level air, volume, debit, suhu, dan tekanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara akurat, stabil, dan responsif. Sensor memberikan pembacaan yang sesuai dengan kondisi lapangan, dengan rata-rata error pengukuran: sensor suhu dengan rata-rata error 0,67%, sensor ultrasonik 1,86%, dan sensor *waterflow* 2,55%. Data ditampilkan secara *real-time* di *website* dengan jeda sekitar 2 detik dari pengiriman ESP32, dan fitur kontrol pompa manual memberi fleksibilitas bagi pengguna. Dengan kemampuan deteksi yang handal dan antarmuka yang interaktif, modul ini layak digunakan sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam bidang sistem kendali dan IoT, serta berpotensi dikembangkan untuk aplikasi industri.

Kata Kunci: ESP32, *Internet of things*, Sensor *Waterflow*, Sensor Tekanan, Sensor Suhu DS18B20, Sensor Ultrasonik, Sistem Kendali Perpipaan, *Website Monitoring*.

I. PENDAHULUAN

IoT adalah konsep yang menghubungkan berbagai perangkat melalui jaringan internet sehingga dapat saling bertukar data. Dalam sistem kendali perpipaan, IoT digunakan untuk mengirim

data sensor dan menerima perintah dari pengguna melalui dashboard [1].

Sensor dan aktuator merupakan komponen penting dalam sistem otomatis industri modern, berfungsi untuk memantau dan mengendalikan proses secara real-time. Sensor berfungsi untuk mendeteksi variabel fisik seperti tekanan [2], volume air [3], suhu [4], dan ketinggian air [5]. Aktuator digunakan untuk mengatur aliran fluida sesuai sinyal dari mikrokontroler, seperti pompa [6] dan katup solenoid. Sensor mendeteksi parameter fisik seperti tekanan, suhu, dan level air, lalu mengubahnya menjadi sinyal digital. Aktuator merespons sinyal tersebut dengan tindakan fisik, seperti mengaktifkan pompa air. Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat saling berkomunikasi melalui jaringan internet [7]. Sistem perpipaan berbasis IoT mendukung efisiensi operasional di sektor air, energi, dan manufaktur. Metode kendali PID umum digunakan karena sederhana dan hemat komputasi, namun kurang adaptif terhadap kondisi dinamis. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali yang lebih fleksibel dan responsive [8].

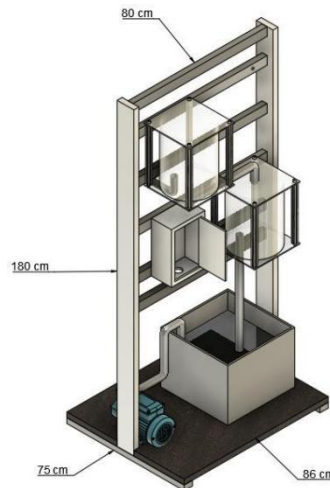
ESP32 adalah mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang berfungsi sebagai pengendali utama dalam sistem [9]. Perangkat ini menerima data dari sensor dan mengirimkannya ke server IoT [10]. Sistem kendali otomatis bertujuan untuk menjaga variabel proses pada nilai tertentu (setpoint) melalui mekanisme feedback.

Beberapa penelitian terkait sistem kontrol dan monitoring air berbasis IoT telah dilakukan dengan berbagai pendekatan dan teknologi. Penelitian pertama merancang sistem IoT menggunakan ESP8266 dan sensor waterflow untuk memantau debit air secara real-time melalui Firebase, yang mampu membantu efisiensi konsumsi air pelanggan dengan metode pengembangan Waterfall [11]. Penelitian kedua mengembangkan sistem kontrol otomatis level air menggunakan ESP8266, sensor HC-SR04 dan HW-038, serta Telegram sebagai media notifikasi dan kontrol pompa otomatis berdasarkan ketinggian air dalam tangki prototipe setinggi 27 cm, dengan hasil menunjukkan akurasi tinggi dalam pemantauan [12]. Penelitian ketiga berfokus pada kontrol level air boiler berbasis IoT dengan ESP8266, sensor ultrasonik, tekanan, dan aliran air yang terhubung ke Blynk, serta menampilkan data di LCD untuk pemantauan real-time dengan tingkat kesalahan hanya 0,18% [13]. Selanjutnya, penelitian keempat menggunakan NodeMCU, sensor aliran dan level air, RTC, relay, serta LCD 16x2 untuk mengirimkan data ke Telegram, memungkinkan kontrol manual maupun otomatis terhadap keran air dengan tingkat akurasi sensor aliran 1,9% dan kesalahan sensor level air 10,3% [14]. Terakhir, penelitian kelima merancang sistem monitoring aliran fluida berbasis IoT menggunakan sensor aliran dan motor servo yang dikendalikan melalui aplikasi Blynk, dengan hasil menunjukkan sistem bekerja efektif terutama pada kondisi bukaan katup 30% [15].

Penelitian sebelumnya menunjukkan keterbatasan dalam visualisasi data dan otomatisasi komponen utama seperti pompa motor. Sistem terdahulu belum mampu memantau level air secara efektif karena tidak dilengkapi sensor water level. Antarmuka pengguna juga belum menampilkan seluruh parameter secara bersamaan, menyulitkan pemantauan sistem. Platform Blynk yang digunakan dinilai kurang fleksibel dalam pengembangan tampilan dan fitur interaktif [15]. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem kendali berbasis IoT dengan antarmuka website yang lebih informatif dan mudah diakses. Sistem mencakup integrasi sensor dan aktuator, kalibrasi perangkat, serta algoritma kendali adaptif. Diharapkan sistem ini mendukung pembelajaran dan meningkatkan efisiensi industri secara keseluruhan.

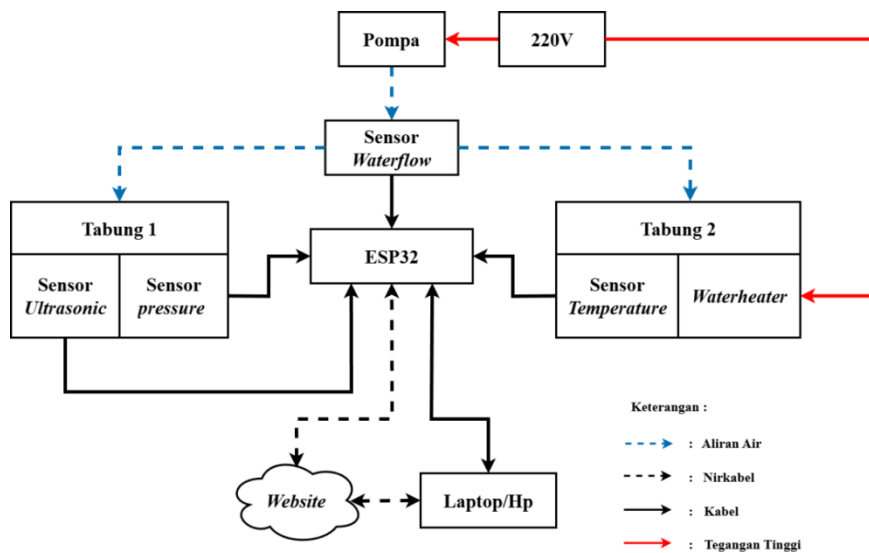
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Kampus II Politeknik Negeri Ujung Pandang, Sulawesi Selatan. Rangkaian penelitian berlangsung mulai dari bulan Oktober 2024 hingga Juli 2025



Gambar 1 Rancangan Mekanik Sistem Kendali Perpipaan Berbasis IoT

Gambar 1 merupakan desain perancangan modul pembelajaran sistem perpipaan berbasis IoT.



Gambar 2 Diagram Skematik Sistem Kendali Perpipaan Berbasis IoT

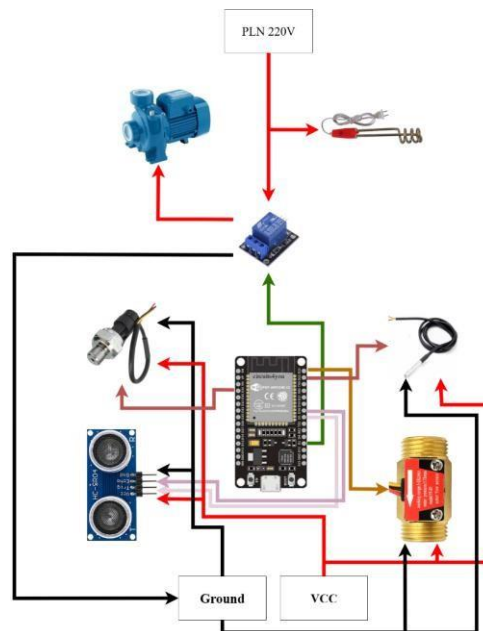
Gambar 2 ini merupakan diagram skematik modul pembelajaran sistem perpipaan berbasis IoT, di mana ESP32 mengontrol pompa, sensor, dan water heater untuk mengatur aliran, tekanan, serta suhu air antara dua tabung, dan data dipantau real-time melalui website.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



(a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang (c) Tampak Samping (d) Tampak Isometri
Gambar 3 Modul Pembelajaran Sistem Kendali Perpipaan Berbasis IoT

Gambar 3 menunjukkan hasil akhir dari perancangan mekanis untuk memonitor aliran fluida yang menggunakan sensor aliran pada sistem perpipaan yang berbasis *Internet of things* (IoT). Desain ini menunjukkan kesiapan modul untuk mendukung pembelajaran dan pengujian kendali fluida secara *real-time*.



Gambar 4 Hasil pembuatan rangkaian elektronik

Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi rangkaian elektronika pada modul pembelajaran sistem kendali perpipaan berbasis IoT. Rangkaian terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor ultrasonik sebagai pendeteksi ketinggian air, sensor tekanan untuk mengukur tekanan pada sistem perpipaan, sensor waterflow untuk mengukur debit aliran air, sensor suhu untuk mengukur temperatur air, modul relay sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan aktuator, pompa air sebagai aktuator pengaliran air, serta water heater sebagai aktuator pemanas air. Sistem juga dilengkapi dengan catu daya untuk menyuplai kebutuhan tegangan pada rangkaian kontrol dan komponen elektronik.

ESP32 menerima data dari sensor ultrasonik, sensor tekanan, sensor waterflow, dan sensor suhu, kemudian mengolah data tersebut dan mengirimkannya ke sistem monitoring berbasis website. Sementara itu, sinyal kendali dari ESP32 diteruskan melalui modul relay untuk mengoperasikan

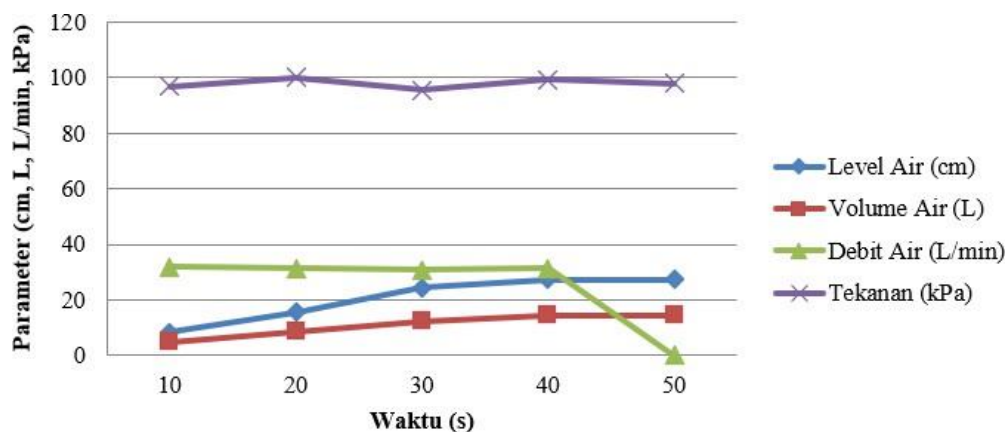
pompa dan water heater sesuai kondisi sistem. Pengkabelan antara sensor, mikrokontroler, catu daya, dan aktuator disusun secara terintegrasi untuk memudahkan proses pengoperasian, pemeriksaan, dan pemeliharaan modul.

Dari sisi mekanik, rangkaian elektronika tersebut terintegrasi dengan rangka aluminium profil, tangki air, jaringan perpipaan, katup, pompa, dan water heater sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 3. Integrasi komponen mekanik dan listrik memungkinkan modul digunakan untuk mensimulasikan proses pengukuran dan pengendalian level air, debit, tekanan, dan temperatur secara real-time.

Tabel 1 Hasil Pengujian Buka-an Katup 100%

Bukaan Katup (%)	Waktu (s)	Level Air (cm)	Volume Air (L)	Debit Air (L/min)	Tekanan Udara (kPa)
100%	10	8,5	4,84	31,83	96,7
	20	15,7	8,77	31,28	100,0
	30	24,5	12,46	30,77	95,6
	40	27,4	14,56	31,50	99,2
	50	27,4	14,56	-	97,9

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada bukaan katup 100%, di waktu 10 detik, level air mencapai 8,5 cm. Volume air yang terbaca oleh sensor *waterflow* yaitu 4,84 L. Hal serupa terjadi pada debit air, di mana sensor mencatat 31,83 L/min. Secara umum, semakin lama waktu pengisian, semakin tinggi nilai yang terbaca oleh sensor, baik level air, volume, maupun debit. Namun, pada waktu 50 detik, debit air tidak terdeteksi karena tabung sudah penuh dan aliran air berhenti. Berdasarkan pengujian, tabung mencapai kapasitas maksimal pada waktu 40 detik, sehingga data pada 40 dan 50 detik menunjukkan nilai yang sama untuk level dan volume, kecuali pada debit dan tekanan.



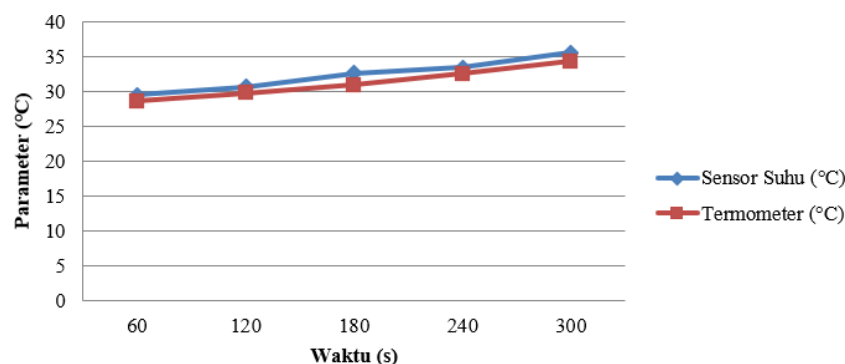
Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Buka-an Katup 100%

Gambar 5 menunjukkan grafik percobaan dengan bukaan katup 100% menunjukkan bahwa level air dan volume air mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu, yang menandakan air dalam tangki semakin tinggi dan volumenya bertambah. Debit air terlihat tinggi pada awal percobaan, kemudian menurun tajam menjelang akhir waktu, menandakan laju aliran air keluar semakin berkurang. Sementara itu, tekanan air tetap relatif stabil di sekitar 100 kPa selama percobaan berlangsung. Secara keseluruhan, pada kondisi katup terbuka penuh, air mengalir dengan cepat di awal pengisian, namun seiring waktu debitnya menurun meskipun tekanan tetap stabil.

Tabel 2 Hasil Pengujian Suhu Air Dengan level 100%

Level Air (%)	Waktu (s)	Sensor Suhu (°C)	Termometer (°C)	Error (%)
100%	60	29,5	28,6	3,14
	120	30,7	29,8	3,02
	180	32,6	30,9	5,50
	240	33,4	32,5	2,76
	300	35,6	34,3	3,79

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada level air 100%, ditampilkan dua jenis pembacaan suhu, yaitu dari sensor suhu dan termometer, dengan kondisi level air sebesar 50%. Pengukuran dilakukan pada interval waktu yang berbeda-beda. Pada waktu 60 detik, sensor suhu mencatat suhu sebesar 42,7°C, sementara termometer menunjukkan 41,5°C, sehingga menghasilkan selisih error sebesar 2,89%.



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Suhu Air Dengan level 100%

Gambar 5 Grafik percobaan sensor suhu pada level air 100% menunjukkan bahwa nilai suhu yang terbaca oleh sensor dan termometer sama-sama meningkat seiring bertambahnya waktu. Pada awal percobaan, suhu berada di sekitar 29°C dan terus naik hingga mencapai sekitar 36°C pada akhir pengamatan. Kenaikan suhu ini menunjukkan bahwa sistem pemanas bekerja dengan baik dalam menaikkan suhu air secara bertahap. Selain itu, perbedaan antara pembacaan sensor suhu dan termometer sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor suhu memiliki akurasi yang baik dan mampu mengikuti perubahan suhu air secara real time.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kendali perpipaan berbasis IoT yang dikembangkan mampu mengintegrasikan berbagai sensor (waterflow, tekanan, suhu, dan ultrasonik) dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja akurat dengan tingkat error relatif kecil, yaitu sensor suhu dengan rata-rata error 0,67%, sensor ultrasonik 1,86%, dan sensor waterflow 2,55%, sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran.
2. Website interaktif yang dirancang dapat menampilkan data sensor secara real-time dengan jeda sekitar 2 detik agar data dapat terkirim dari ESP32 ke server website. Sistem terbukti mampu memberikan informasi yang akurat dan responsif, sehingga mendukung proses pembelajaran sekaligus berpotensi untuk pengembangan pada aplikasi industri nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Jurusan Teknik Mesin, yang telah memberikan dukungan serta fasilitas Laboratorium dan Bengkel selama proses perancangan, pembuatan, dan pengujian modul pembelajaran sistem kendali perpipaan

berbasis IoT. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, teknisi, dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. H. Hussein, "Internet of Things (IOT): Research challenges and future applications," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 6, pp. 77–82, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0100611.
- [2] R. Rijal Syah, "Rancang Bangun Alat Deteksi Kebocoran Pipa Distribusi Air Berbasis Sensor Tekanan dan Mikrokontroler," *Tugas Akhir*, p. 6, 2018.
- [3] Herfadlan&Budi, "Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan Aliran Air Menggubakan Water Flow Sensor Berbasis Arduiono Uno," vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2023.
- [4] A. E. , D. Imam Muammarul, "Pengendalian Suhu Air Menggunakan Sensor Suhu Ds18B20," *J. J-Ensitem*, vol. 06, no. 1, pp. 347–352, 2019.
- [5] P. D. Widayaka, S. Hadi, R. P. M. D. Labib, and K. Marzuki, "Komparasi Performansi Sensor sebagai Perangkat Pengukuran Ketinggian Air pada Sistem Notifikasi Banjir," *J. Bumigora Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 37–48, 2022, doi: 10.30812/bite.v4i1.1997.
- [6] . Suhesti, Aulia Rahayu Agustini, Efrata Tarigan, "SINERGI Polmed : JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN PERFORMANSI VIBRASI POMPA PADA STEAM CONDENSATE PUMP (G-2707) I N F O A R T I K E L," *Politek. Negeri Medan*, vol. 05, no. 1, pp. 62–895, 2015, [Online]. Available: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- [7] A. Mukhtar, R. Hermana, A. Burhanudin, and Y. Setyoadi, "Sensor Dan Aktuator: Konsep Dasar Dan Aplikasi," *Cv Widina Media Utama*, p. 1, 2023.
- [8] A. U. Darajat and S. Istiqphara, "Sistem Kontrol Ketinggian Air pada Sistem Dua Tanki dengan Menggunakan Metode Proporsional Integral (PI) Adaptif," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i1.111893.
- [9] W. N. Susilo, D. Aryani, P. Setiawati, and P. M. Akhirianto, "Sistem Monitoring Voltage Power Station Berbasis," vol. 08, no. 01, pp. 21–29, 2023, doi: 10.47007/komp.v8i01.6720.
- [10] M. N. Nizam, Haris Yuana, and Zunita Wulansari, "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5713.
- [11] N. Imansyah and S. H. Widiastuti, "Sistem Kontrol dan Monitoring Penggunaan Air Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP8266," *J. Inf. dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 108–113, 2022, doi: 10.37034/jidt.v4i3.207.
- [12] Muliadi and Isminarti, "Automatic water level controlling and monitoring system using IoT application," *Int. J. Artif. Intell. Res.*, vol. 7, no. 1.1, pp. 1–12, 2023, [Online]. Available: <https://ijair.id/index.php/ijair/issue/view/23>
- [13] H. Prasetyo, T. K. Wijaya, and M. Alagusri, "PERANCANGAN PROTOTYPE KONTROL DAN MONITOR LEVEL AIR PADA MESIN BOILER BERBASIS IoT (Internet of Things)," *Sigma Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 377–388, 2023, doi: 10.33373/sigmateknika.v6i2.5572.
- [14] R. N. Rohmah, A. Budiman, and V. L. Rohman, "Sistem Pemantauan dan Pengendalian Penggunaan Air Menggunakan Aplikasi Telegram Berbasis IoT," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 26–31, 2020, doi: 10.23917/emit.v21i01.11896.
- [15] Ihksan&Faisal, "Monitoring Aliran Fluida Menggunakan Sensor Aliran Berbasis IoT Pada Sistem Perpipaian," *Sist. Perpipaian*, vol. 15, no. 1, pp. 37–48, 2024.