

Perancangan Sistem Filtrasi dan Pemantauan pH Air Berbasis Internet of Things untuk Kualitas Air Rumah Tangga

Muhammad Nur Khawarizmi* Al-Fachrezi Three Aditya, Arza Restu Arjuna, Ramadhani Ahmad, Rendy Antono,

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*Penulis korespondensi: mnkhawarizmi@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Article history:

Received: 02-05-2026

Revised: 15-05-2026

Accepted: 30-05-2026

Kata kunci:

filtrasi air;

kualitas air;

pemantauan pH;

sensor TDS;

Internet of Things

ABSTRAK / ABSTRACT

ABSTRAK

Ketersediaan air yang aman untuk kebutuhan rumah tangga memerlukan proses pengolahan dan pemantauan kualitas yang terintegrasi. Pemantauan manual tidak menyediakan data secara berkelanjutan, sedangkan sistem filtrasi sederhana umumnya tidak memberikan informasi langsung mengenai kondisi air keluaran. Penelitian ini bertujuan merancang WAFER, yaitu sistem filtrasi dan pemantauan pH air berbasis Internet of Things yang memadukan modul filtrasi berlapis, sensor pH dan total padatan terlarut, mikrokontroler ESP32, server, serta aplikasi pemantauan. Metode penelitian menggunakan pendekatan perancangan prototipe melalui identifikasi kebutuhan, studi pustaka, desain perangkat keras, desain perangkat lunak, perancangan akuisisi dan pengolahan data, serta penyusunan kriteria pengujian. Hasil perancangan menghasilkan arsitektur sistem yang mengalirkan air melalui media pasir silika, pasir aktif, karbon aktif, dan zeolit sebelum sensor mengukur pH dan total padatan terlarut. ESP32 memproses dan mengirim data menuju server untuk disimpan, disaring dengan metode moving average, dan ditampilkan melalui aplikasi dalam bentuk nilai aktual, grafik tren, status kualitas, serta riwayat pengukuran. Integrasi filtrasi dan pemantauan dalam satu platform menjadi kontribusi utama rancangan. Nilai pH dan total padatan terlarut belum cukup untuk menyatakan air aman diminum karena penilaian kualitas air juga membutuhkan parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis lain. Dokumen sumber belum memuat hasil kalibrasi sensor dan pengujian lapangan, sehingga keluaran penelitian ini harus diposisikan sebagai hasil perancangan yang memerlukan validasi empiris lanjutan.

1. PENDAHULUAN

Air yang tersedia secara aman dan mudah diakses memiliki fungsi langsung bagi kesehatan masyarakat, kegiatan domestik, produksi pangan, dan keberlanjutan sosial ekonomi. Organisasi Kesehatan Dunia menempatkan penyediaan air aman sebagai unsur penting dalam pencegahan penyakit dan peningkatan kesejahteraan. Indonesia mengatur persyaratan kesehatan media air melalui Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yang mencakup parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi untuk berbagai keperluan [1], [2].

Nilai pH menjadi salah satu indikator penting karena menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air. Peraturan nasional menetapkan rentang pH 6,5 sampai 8,5 pada parameter yang relevan. Nilai di luar rentang tersebut dapat mengindikasikan kondisi air yang tidak sesuai, meningkatkan korosivitas, atau memengaruhi efektivitas proses pengolahan. Total padatan terlarut atau total dissolved solids (TDS) juga memberikan informasi awal mengenai jumlah zat anorganik dan organik terlarut. Kedua parameter tersebut berguna sebagai indikator operasional, tetapi tidak dapat menggantikan pemeriksaan laboratorium yang lebih lengkap [1], [3].

Metode pemantauan konvensional biasanya bergantung pada pengambilan sampel dan pengujian pada waktu tertentu. Pendekatan tersebut menghasilkan data yang terputus, membutuhkan tenaga, dan dapat terlambat mendeteksi perubahan kualitas. Sistem berbasis Internet of Things (IoT) menawarkan pemantauan berkelanjutan melalui sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, penyimpanan awan, dan antarmuka visual. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sensor pH, TDS, suhu, dan kekeruhan dapat diintegrasikan dengan ESP32 untuk menghasilkan data secara real-time dan mendukung pengawasan jarak jauh [4], [5].

Sistem filtrasi rumah tangga juga menghadapi keterbatasan. Filter dapat memperbaiki karakteristik tertentu, tetapi pengguna sering tidak memiliki informasi langsung mengenai kondisi air setelah filtrasi. Penggabungan proses filtrasi dengan sensor memungkinkan sistem memberi umpan balik berdasarkan air keluaran. Irawan et al. [6] menunjukkan kemungkinan integrasi alat ukur pH dan TDS dengan proses penyaringan, sedangkan penelitian lain menekankan manfaat konektivitas, pencatatan historis, dan notifikasi dalam sistem pemantauan air [7], [8].

WAFER dirancang untuk menjawab kebutuhan tersebut melalui satu arsitektur yang memadukan modul filtrasi berlapis, sensor pH dan TDS, mikrokontroler ESP32, server, dan aplikasi pemantauan. Sistem menempatkan proses pengolahan fisik dan adsorpsi sebelum tahap pengukuran agar pengguna memperoleh informasi mengenai kondisi air keluaran. Aplikasi menyajikan nilai aktual, grafik tren, status, lokasi, dan riwayat pengukuran.

Penelitian ini bertujuan menyusun rancangan teknis WAFER, menjelaskan alur kerja perangkat keras dan perangkat lunak, serta menganalisis kontribusi dan keterbatasannya berdasarkan literatur. Penelitian tidak menyajikan klaim efektivitas filtrasi atau akurasi sensor karena dokumen sumber belum memuat data kalibrasi dan pengujian lapangan. Posisi tersebut menjaga agar hasil dan pembahasan tetap sesuai dengan bukti yang tersedia.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Air, pH, dan TDS

Kualitas air merupakan kondisi yang dibentuk oleh karakteristik fisik, kimia, dan biologis. Penilaian kualitas tidak dapat bergantung pada satu indikator. pH berfungsi sebagai indikator keseimbangan asam dan basa, sedangkan TDS menggambarkan konsentrasi padatan yang terlarut. Sensor pH dan TDS memberi manfaat untuk pemantauan cepat, tetapi keduanya tidak mendeteksi semua logam, senyawa organik, ataupun mikroorganisme patogen. Sistem pemantauan harus memosisikan hasil sensor sebagai data skrining dan pengendalian proses, bukan sebagai sertifikat keamanan air minum [3], [9].

Pengukuran sensor memerlukan kalibrasi terhadap instrumen acuan, kompensasi kondisi lingkungan, dan pengendalian derau. Sugiharto et al. [5] melaporkan bahwa integrasi sensor komersial dengan IoT dapat menghasilkan pemantauan pH, TDS, suhu, dan kekeruhan secara berkelanjutan. Rosandi et al. [4] juga menunjukkan akurasi tinggi pada sensor pH dalam sistem ESP32, tetapi setiap perangkat tetap memerlukan proses kalibrasi karena karakteristik sensor, kualitas elektroda, temperatur, dan usia pakai dapat memengaruhi hasil.

2.2 Filtrasi Berlapis

Filtrasi berlapis menggabungkan fungsi penyaringan mekanis dan adsorpsi. Pasir silika membantu menahan partikel tersuspensi, karbon aktif menyerap sebagian senyawa penyebab bau, rasa, warna, dan bahan organik, sedangkan zeolit memiliki struktur berpori yang dapat mendukung adsorpsi dan pertukaran ion. Efektivitas setiap media bergantung pada ukuran butiran, ketebalan lapisan, laju aliran, waktu kontak, kualitas air baku, dan kondisi kejenuhan media.

Prayoga dan Wulandari [10] menemukan bahwa variasi susunan pasir silika dan karbon aktif dapat menurunkan kadar besi, tetapi air hasil filtrasi dalam penelitian tersebut tetap belum memenuhi baku mutu. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan media filter tidak otomatis menjamin kepatuhan terhadap standar. Desain WAFER karena itu harus diuji melalui perbandingan kondisi sebelum dan setelah filtrasi, pengulangan, serta pemeriksaan laboratorium untuk parameter yang tidak dibaca sensor.

2.3 Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT

Sistem IoT untuk kualitas air umumnya terdiri atas lapisan sensor, pemrosesan lokal, komunikasi, penyimpanan data, analitik, dan antarmuka pengguna. ESP32 sering digunakan karena menggabungkan kemampuan pemrosesan dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Sistem yang baik harus mendukung akuisisi data yang konsisten, validasi nilai, pencatatan waktu, pengelolaan kehilangan koneksi, dan visualisasi yang mudah dipahami [7], [8].

Kajian Jan et al. [3] serta Essamlali et al. [9] menekankan bahwa tantangan utama sistem pemantauan air berbasis IoT mencakup akurasi sensor murah, keamanan komunikasi, konsumsi energi, ketahanan perangkat, dan interpretasi data. Pengembangan aplikasi tidak boleh berhenti pada tampilan nilai. Sistem perlu menampilkan ambang, tren, riwayat, peringatan, serta informasi mengenai status kalibrasi agar pengguna dapat menilai keandalan data.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan perancangan prototipe. Objek penelitian adalah WAFER, yaitu sistem yang mengintegrasikan proses filtrasi dengan pemantauan pH dan TDS berbasis IoT. Kegiatan perancangan ditempatkan pada lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sumber informasi meliputi dokumen teknis komponen, peraturan kualitas air, artikel ilmiah mengenai filtrasi, sensor, ESP32, dan sistem pemantauan air.

Tahapan penelitian mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan modul filtrasi, perancangan rangkaian sensor dan mikrokontroler, perancangan alur komunikasi dan server, desain antarmuka aplikasi, serta penyusunan skenario integrasi dan pengujian. Analisis dilakukan secara deskriptif teknis dengan menilai kesesuaian fungsi antarkomponen, aliran data, keterlacakan hasil pengukuran, dan konsistensi rancangan dengan temuan penelitian terdahulu.

Tabel 1. Tahapan perancangan sistem WAFER

No.	Tahap	Keluaran
1	Identifikasi kebutuhan	Menentukan parameter, kebutuhan pengguna, fungsi filtrasi, konektivitas, dan keluaran aplikasi.
2	Desain filtrasi	Menetapkan bentuk tabung, susunan media, jalur masuk, dan jalur keluar air.
3	Desain perangkat keras	Menghubungkan sensor pH, sensor TDS, ESP32, catu daya, dan rangkaian pendukung.
4	Desain perangkat lunak	Menyusun akuisisi data, komunikasi ke server, basis data, dan pemrosesan derau.
5	Desain aplikasi	Menyusun user flow, wireframe, tampilan nilai, grafik tren, status, dan riwayat.
6	Integrasi dan pengujian	Menetapkan kalibrasi sensor, uji transmisi, uji sebelum dan setelah filtrasi, serta evaluasi antarmuka.

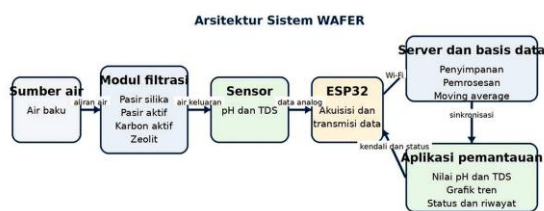
Rancangan pengujian seharusnya membandingkan pembacaan sensor dengan pH meter dan TDS meter acuan, menghitung kesalahan pengukuran, menguji stabilitas transmisi, mengukur waktu tunda, serta

membandingkan kualitas air sebelum dan setelah filtrasi. Pengujian mikrobiologi dan parameter kimia lain perlu dilakukan di laboratorium apabila sistem diarahkan untuk menilai keamanan air minum.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Arsitektur Sistem

Hasil utama penelitian berupa rancangan arsitektur yang menyatukan aliran air dan aliran data. Air baku masuk ke modul filtrasi berlapis. Air keluaran kemudian melewati titik pengukuran sensor pH dan TDS. ESP32 membaca sinyal sensor, melakukan pemrosesan awal, dan mengirim data melalui jaringan Wi-Fi menuju server. Server menyimpan data, menerapkan penyaringan derau, dan menyediakan data kepada aplikasi pemantauan. Gambar 1 menunjukkan hubungan fungsional setiap bagian.



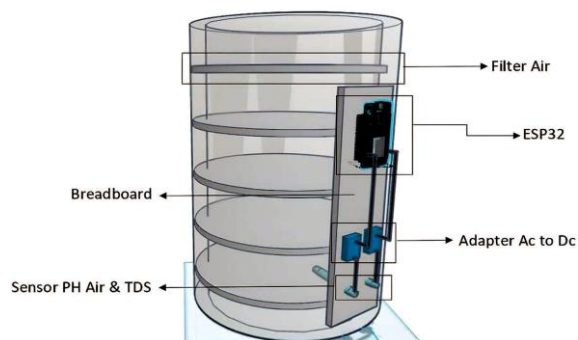
Gambar 1. Arsitektur sistem WAFER

Sumber: hasil perancangan, 2026

Arsitektur tersebut menggunakan pemisahan fungsi yang jelas. Modul filtrasi menangani perbaikan karakteristik air, sensor menangani pengukuran, ESP32 menangani akuisisi dan komunikasi, server menangani penyimpanan dan pemrosesan, sedangkan aplikasi menangani interaksi pengguna. Pemisahan ini memudahkan penggantian komponen dan pengembangan parameter baru. Konsep serupa digunakan dalam sistem IoT modern karena arsitektur modular meningkatkan kemampuan pemeliharaan dan perluasan sistem [8].

4.2 Rancangan Modul Filtrasi dan Perangkat Keras

Modul filtrasi dirancang berbentuk silinder dengan beberapa lapisan media. Media yang dicantumkan dalam rancangan meliputi pasir silika, pasir aktif, karbon aktif, dan zeolit. Susunan final harus ditentukan melalui uji eksperimental karena perubahan ketebalan dan urutan media dapat menghasilkan kinerja yang berbeda. Sensor ditempatkan pada bagian air keluaran agar data menggambarkan kondisi setelah proses filtrasi. ESP32, breadboard, adaptor, dan kabel penghubung ditempatkan pada sisi luar wadah untuk memudahkan akses dan mengurangi kontak langsung dengan air.



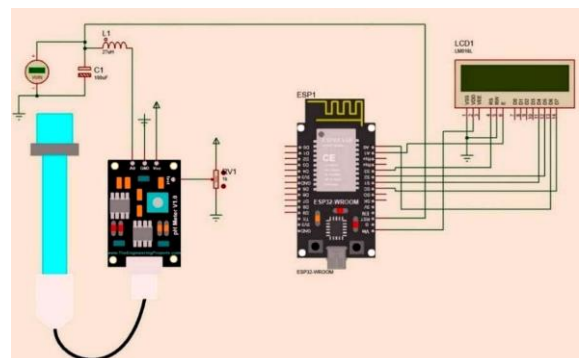
Gambar 2. Rancangan modul filtrasi dan penempatan komponen

Sumber: dokumen perancangan WAFER

Tabel 2. Komponen utama dan fungsi sistem

Komponen	Fungsi
Modul filter berbentuk silinder	Menampung media filtrasi dan mengarahkan aliran air.
Pasir silika dan pasir aktif	Mendukung penyaringan partikel dan pengurangan kekeruhan secara fisik.
Karbon aktif	Mendukung adsorpsi sebagian senyawa penyebab bau, rasa, warna, dan bahan organik.
Zeolit	Mendukung adsorpsi dan pertukaran ion sesuai karakteristik air baku.
Sensor pH	Mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air keluaran.
Sensor TDS	Mengukur total padatan terlarut sebagai indikator operasional.
ESP32	Membaca sensor, menjalankan logika, dan mengirim data melalui jaringan.
Server dan basis data	Menyimpan, membersihkan, dan menyediakan data untuk aplikasi.
Aplikasi pemantauan	Menampilkan nilai, grafik tren, status, lokasi, dan riwayat.

Rangkaian sensor menghubungkan probe pH dan TDS ke masukan analog ESP32. Rancangan perlu memperhatikan rentang tegangan keluaran sensor, kualitas catu daya, isolasi koneksi, dan kalibrasi. Sensor elektrokimia dapat mengalami perubahan respons akibat temperatur, kontaminasi probe, dan penyimpanan yang tidak tepat. Kotak pelindung harus memiliki ketahanan terhadap percikan air dan korosi. Gambar 3 memperlihatkan skema hubungan dasar sensor dengan mikrokontroler.



Gambar 3. Skema integrasi sensor pH dan mikrokontroler ESP32

Sumber: dokumen perancangan WAFER, diolah

4.3 Akuisisi, Pemrosesan, dan Penyajian Data

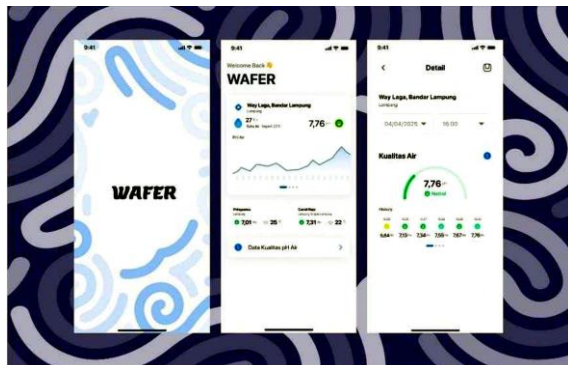
ESP32 mengambil data sensor pada interval yang ditetapkan. Setiap rekaman harus memuat identitas perangkat, waktu, nilai pH, nilai TDS, dan status koneksi. Data kemudian dikirim menuju server dan disimpan dalam basis data. Rancangan menggunakan metode *moving average* untuk mereduksi fluktuasi jangka pendek. Nilai rata-rata bergerak dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\bar{x}_t = (1/n) \sum_{i=0}^{n-1} x_{t-i}$$

Nilai n menentukan jumlah pembacaan yang digunakan. Nilai n yang terlalu kecil kurang efektif mengurangi derau, sedangkan nilai yang terlalu besar dapat memperlambat respons terhadap perubahan. Penetapan n harus didasarkan pada hasil pengujian sinyal dan kebutuhan waktu respons. Sistem juga perlu menyimpan data mentah agar proses validasi dan audit tetap dapat dilakukan.

Aplikasi dirancang menggunakan pendekatan antarmuka bertahap dari *wireframe* hingga desain *high-*

fidelity. Halaman utama menampilkan lokasi, nilai pH, grafik perubahan, serta ringkasan status. Halaman detail memuat indikator kualitas dan riwayat pengukuran. Desain minimalis membantu pengguna membaca informasi penting tanpa menghadapi terlalu banyak elemen visual. Gambar 4 memperlihatkan rancangan antarmuka aplikasi.



Gambar 4. Rancangan antarmuka aplikasi pemantauan WAFER

Sumber: dokumen perancangan WAFER, diolah

Tampilan status tidak boleh menggunakan pH sebagai satu-satunya dasar klasifikasi. Aplikasi sebaiknya membedakan status “parameter terpantau berada dalam rentang” dari status “air aman digunakan”. Perbedaan istilah tersebut penting karena sensor pH dan TDS tidak membaca bakteri, virus, pestisida, logam tertentu, atau senyawa organik spesifik. Penyajian informasi yang terlalu menyederhanakan dapat menimbulkan keyakinan yang tidak sesuai dengan kapasitas alat.

4.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Tabel 3. Posisi rancangan WAFER terhadap penelitian terdahulu

Penelitian	Parameter	Platform	Integrasi filtrasi	Catatan
Irawan et al. [6]	pH dan TDS	Arduino	Ada	Menggabungkan pengukuran dan filtrasi, tetapi konektivitas jarak jauh tidak menjadi fokus utama.
Rosandi et al. [4]	TDS, pH, amonia, suhu	ESP32 dan Blynk	Tidak	Menunjukkan pemantauan jarak jauh dan akurasi sensor yang tinggi.
Sugiharto et al. [5]	pH, TDS, suhu, kekeruhan	IoT dan komputasi awan	Tidak	Menghasilkan data berkelanjutan dan analisis real-time.
Forhad et al. [8]	pH, DO, TDS, suhu	IoT, server, PLC	Tidak langsung	Berorientasi pada pemantauan instalasi pengolahan air dan pencatatan historis.
WAFER	pH dan TDS	ESP32, server, aplikasi	Ada	Mengintegrasikan filtrasi rumah tangga dan pemantauan, tetapi belum memiliki data uji empiris.

Perbandingan menunjukkan bahwa kontribusi WAFER bukan pada penggunaan sensor atau ESP32 secara terpisah. Teknologi tersebut telah banyak digunakan. Kontribusi rancangan terletak pada penggabungan modul filtrasi, pengukuran air keluaran, pemrosesan server, dan aplikasi dalam satu alur. Kebaruan tersebut masih bersifat arsitektural. Nilai ilmiahnya baru dapat diperkuat melalui data kalibrasi, perbandingan sebelum dan setelah filtrasi, reliabilitas komunikasi, serta evaluasi pengguna.

4.5 Keterbatasan dan Kebutuhan Validasi

Dokumen sumber belum memuat hasil pengukuran air, nilai kesalahan sensor, efisiensi penyisihan kontaminan, waktu respons, kehilangan data, atau hasil uji kegunaan aplikasi. Hasil penelitian ini karena itu terbatas pada rancangan teknis dan analisis konseptual. Klaim bahwa sistem menghasilkan air aman atau memenuhi seluruh baku mutu belum dapat dibuat.

Validasi lanjutan perlu mencakup lima aspek. Pertama, sensor pH harus dikalibrasi menggunakan larutan penyangga dan dibandingkan dengan instrumen acuan. Kedua, sensor TDS harus dibandingkan dengan meter terkalibrasi pada beberapa rentang konsentrasi. Ketiga, sampel air sebelum dan setelah filtrasi harus diuji berulang untuk parameter kekeruhan, warna, bau, besi, mangan, dan parameter yang relevan dengan sumber air. Keempat, pengujian mikrobiologi diperlukan apabila sistem diarahkan pada air minum. Kelima, sistem komunikasi harus diuji melalui tingkat keberhasilan pengiriman, waktu tunda, dan pemulihan setelah koneksi terputus.

Rancangan juga perlu memperhitungkan pemeliharaan media dan sensor. Filter yang jenuh dapat kehilangan efektivitas dan menjadi sumber kontaminasi sekunder. Aplikasi sebaiknya mencatat waktu pemasangan media, volume air yang diproses, jadwal penggantian, waktu kalibrasi, dan kondisi probe. Fitur tersebut akan meningkatkan keterlacakan operasional dan mengurangi risiko penggunaan data yang tidak lagi akurat.

5. KESIMPULAN

WAFER merupakan sebuah rancangan sistem yang mengintegrasikan filtrasi berlapis, sensor pH dan TDS, ESP32, server, serta aplikasi pemantauan. Arsitektur menghubungkan aliran air dengan aliran data sehingga kondisi air keluaran dapat dipantau, disimpan, dan ditampilkan dalam bentuk nilai aktual, grafik tren, status, serta riwayat. Rancangan memiliki keunggulan berupa struktur modular dan penggabungan fungsi pengolahan dengan pemantauan jarak jauh. Bukti yang tersedia belum mendukung klaim efektivitas filtrasi, akurasi sensor, atau keamanan air. Pengembangan selanjutnya harus memprioritaskan kalibrasi, pengujian sebelum dan setelah filtrasi, pemeriksaan parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi, serta pengujian reliabilitas komunikasi dan kegunaan aplikasi. Dengan validasi tersebut, WAFER dapat berkembang dari rancangan konseptual menjadi sistem yang memiliki dasar empiris dan dapat dipertanggungjawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan," 2023.
- [2] World Health Organization, "Drinking-water," 2023.
- [3] F. Jan, N. Min-Allah, and D. Düstegör, "IoT based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges for domestic applications," *Water*, vol. 13, no. 13, p. 1729, 2021.
- [4] D. Rosandi, Junaidi, D. K. Apriyanto, and A. Surtono, "Design of water quality monitoring system for koi fish farming using NodeMCU ESP32 and Blynk application based on Internet of Things," *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [5] W. H. Sugiharto, H. Susanto, and A. Prasetyo, "Real-time water quality assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, temperature, and

- turbidity," *Ingénierie des Systèmes d'Information*, vol. 28, no. 4, pp. 823-831, 2023.
- [6] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni, and Y. Devis, "Water quality measurement and filtering tools using Arduino Uno, pH sensor and TDS meter sensor," *Journal of Robotics and Control*, vol. 2, no. 5, pp. 357-362, 2021.
- [7] A. T. Chafa, G. P. Chirinda, and S. Matope, "Design of a real-time water quality monitoring and control system using Internet of Things (IoT)," *Cogent Engineering*, vol. 9, no. 1, p. 2143054, 2022.
- [8] H. M. Forhad et al., "IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs)," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40746, 2024.
- [9] I. Essamlali, H. Nhaila, and M. El Khaili, "Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review," *Heliyon*, vol. 10, no. 6, p. e27920, 2024.
- [10] Y. G. Prayoga and W. Wulandari, "Effectiveness of variations in silica sand and activated carbon filter media in reducing iron (Fe) levels in well water," *Contagion: Scientific Periodical of Public Health and Coastal Health*, vol. 6, no. 1, pp. 646-655, 2024.