

PROTOTYPE MONITORING PENINGKATAN KUALITAS AIR LAYAK MINUM BERBASIS INTERNET OF THINGS

Ihsan Fikri¹⁾, Ahmad Kurnia²⁾

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro- Politeknik TEDC Bandung
Jl. Politeknik-Pesantren KM2 Cibabat Cimahi Utara – Cimahi Jawa Barat – Indonesia
ihsanfikri1101@gmail.com, akurnia@poltektedc.ac.id

Correspondent Email: akurnia@poltektedc.ac.id

Abstrak — Ketersediaan air bersih yang layak konsumsi masih menjadi tantangan di Indonesia, terutama terkait pemenuhan standar kualitas seperti tingkat keasaman (pH) air. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe sistem monitoring dan peningkatan kualitas air berbasis IoT yang bekerja otomatis menggunakan ESP32 sebagai pengendali, sensor pH 4502C untuk mendeteksi keasaman air, serta media filter (batu alkaline, ORP, turmalin, infrared, anti-bacterial) untuk meningkatkan pH air. Data ditampilkan pada LCD dan dikirim ke website lokal secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan sensor pH memiliki akurasi rata-rata 93% dengan error rata-rata 0,3 pH. Relay dan pompa berfungsi baik sesuai logika kontrol, serta ESP32 berhasil mengirim data ke website dengan tingkat keberhasilan 80%. Sistem mampu mendeteksi pH di luar batas normal dan mengaktifkan filterisasi secara otomatis hingga pH mencapai rentang yang ditentukan. Kesimpulannya, prototipe berhasil diimplementasikan dan bekerja otomatis, namun masih perlu pengembangan seperti penambahan sensor pendukung dan peningkatan keandalan komunikasi data.

Kata Kunci — ESP32, sensor pH, *Internet of Things*, monitoring kualitas air, filterisasi air

I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan fundamental bagi seluruh aktivitas manusia, mulai dari konsumsi hingga sanitasi. Pada tahun 2024, sebanyak 92,64% rumah tangga di Indonesia memiliki akses terhadap air minum layak, namun masih terdapat 7,36% rumah tangga yang belum memiliki akses tersebut. Ketersediaan air bersih tidak hanya ditentukan oleh jumlahnya, tetapi juga oleh kualitas yang memenuhi standar kesehatan [1].

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT) membuka peluang untuk menghadirkan sistem pengolahan dan pemantauan air yang lebih efisien, akurat, serta mudah diakses. ESP32, sebagai mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi terintegrasi, memungkinkan proses akuisisi data sensor dilakukan secara real-time serta mengirimkan informasi kualitas air ke platform *monitoring* berbasis web maupun aplikasi [6].

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun *prototype* sistem filterisasi yang efektif efektif meningkatkan kualitas air, mengembangkan sistem monitoring kualitas air secara real-time menggunakan ESP32, mengintegrasikan sensor kualitas air dengan platform visualisasi data, dan menguji performa sistem dalam memantau perubahan parameter selama proses filtrasi.

Data BPS periode 2024 mencatat cakupan air minum layak nasional telah mencapai 92,64%. Kendati mengalami

tren positif, defisit 7,36% sisanya menandakan masih ada cakupan populasi yang belum terlayani secara optimal. Secara definisi, pemukiman yang memiliki akses layak ditandai oleh penggunaan instalasi air terproteksi, mencakup PDAM, sumur bor/pompa terlindungi, penampungan air hujan, hingga produk air minum kemasan maupun isi ulang.

Menurut Badan Pusat Statistik (2024), Rumah tangga dianggap memiliki akses air minum layak jika menggunakan sumber air yang terlindung, seperti leding, sumur bor atau pompa, sumur terlindung, mata air terlindung, dan air hujan, termasuk air kemasan bermerk atau isi ulang [1].

Krisis air bersih global berdampak signifikan terhadap kesehatan publik; data WHO mencatat lebih dari 2,2 miliar populasi bumi kesulitan mendapat air konsumsi aman, dengan mortalitas akibat penyakit pencemaran air mencapai kisaran 829 ribu jiwa per tahun. Merujuk regulasi domestik (Permenkes No. 2/2023), indikator kualitas air minum nasional menetapkan angka keasaman (pH) optimum berada pada skala 6,5–8,5[2].

II. LANDASAN TEORI

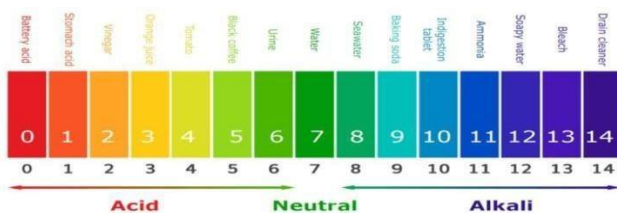
2.1 Kualitas Air

Air merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup di bumi ini. Fungsi air bagi

kehidupan ini tidak dapat digantikan oleh senyawa lain. Penggunaan air yang utama dan sangat vital bagi kehidupan adalah sebagai air minum. Hal ini terutama untuk mencukupi kebutuhan air di dalam tubuh manusia itu sendiri [3].

Dalam kaitannya dengan parameter kimia yang diuji, derajat keasaman (pH) serta kandungan mineral terlarut menjadi indikator utama dalam menentukan mutu air. Air bersih di Indonesia memiliki rentang pH ideal antara 6,5 hingga 8,5 berdasarkan standar baku mutu terbaru [2].

Air bersih di Indonesia memiliki rentang pH ideal antara 6,5 hingga 8,5 berdasarkan standar baku mutu terbaru. Regulasi yang berlaku saat ini adalah Permenkes No. 2 Tahun 2023, yang menggantikan Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010 [2].



Gambar 2.1 pH scale
(<https://share.google/WUG2Nkik14JgJiCxY>)

Menambahkan ini memperkuat argumen bahwa rentang pH 6,5–8,5 adalah target yang ingin dicapai sistem filtrasi pada penelitian ini. Penjelasannya dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Air Bersifat Asam: Asam air dikategorikan bersifat asam apabila memiliki nilai pH di bawah 6 atau 7.
2. Air bersifat netral: Air netral merupakan air yang memiliki nilai pH sekitar 7, yang menunjukkan keseimbangan antara sifat asam dan basa.
3. Air bersifat basa: Air dikatakan bersifat basa apabila nilai pH berada di atas 7[4].

2.1 Sistem kontrol

Sistem kontrol merupakan suatu kerangka teknis yang dirancang untuk mengendalikan perilaku suatu sistem agar dapat mencapai kondisi yang diharapkan melalui keterkaitan antara masukan (*input*), proses pengolahan, dan keluaran (*output*).

Dalam konteks otomatisasi kualitas air sistem kontrol berfungsi sebagai mekanisme pengaturan yang memanfaatkan sinyal masukan untuk menghasilkan keluaran tertentu dengan menggunakan prinsip umpan balik [5].

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan rancang bangun sistem. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem (*hardware* dan *software*), implementasi, pengujian dan evaluasi, serta dokumentasi.

Perangkat keras yang digunakan terdiri dari:

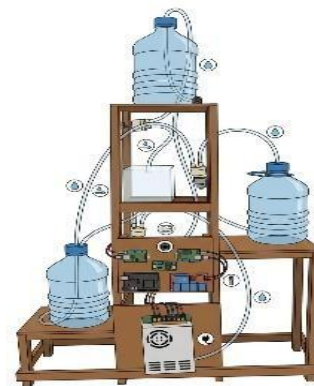
1. ESP32 NodeMCU sebagai pusat pengendali yang membaca data sensor, mengolah data, mengendalikan aktuator, menampilkan data lokal, dan mengirim data ke dashboard web .
2. Sensor pH 4502C untuk mengukur tingkat keasaman/kebasaan air berdasarkan prinsip potensiometri.
3. Modul *Relay 4 Channel* sebagai saklar elektronik yang menghubungkan ESP32 dengan pompa DC 12V.
4. Empat Pompa Air DC 12V sebagai aktuator yang mengalirkan air melalui media filter.
5. *Step Down LM2596* untuk menurunkan tegangan 24V menjadi 12V pada salah satu pompa.
6. *Power Supply 24V* sebagai sumber daya utama.
7. Media Filter terdiri dari batu alkaline, ORP, turmalin, infrared, dan anti-bacterial [9].

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Gambaran Umum Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari tiga wadah air (galon) yang berperan sebagai sumber air baku dan penampung hasil olahan, satu unit kotak filter berisi lima jenis media penyaring, serta panel elektronik yang menempatkan mikrokontroler ESP32, sensor pH 4502C, modul *relay 4 channel*, dan *power supply 24V* sebagai pusat kendali. Mengenai proses perancangan sistem monitoring dan peningkatan kualitas pH air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

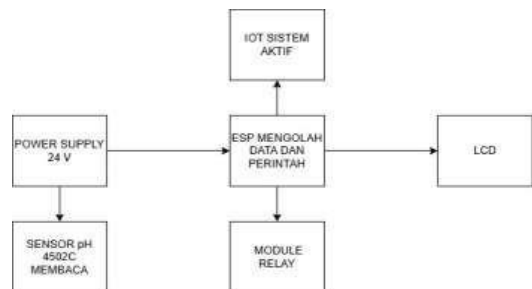
Perancangan sistem diawali dengan menentukan kebutuhan perangkat keras yang digunakan, seperti mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor pH 4502c sebagai pendeteksi tingkat keasaman/kebasaan.



Gambar 3.1 desain alat

B. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan perangkat keras merupakan tahap yang dilakukan untuk menentukan komponen yang digunakan serta hubungan antar komponen dalam membangun *prototype monitoring* peningkatan kualitas pH air berbasis *Internet of Things* (IoT). Perangkat keras yang dirancang harus mampu mendukung proses *monitoring* nilai pH air, pengolahan data, serta pengendalian pompa secara otomatis



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan alat serta pengujian sistem untuk meningkatkan kualitas air agar layak minum. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan sistem guna mengetahui tingkat akurasi alat yang dirancang.

A. Hasil Perancangan Alat

Penelitian ini menghasilkan *prototype* sistem pengolahan dan monitoring kualitas air berbasis IoT yang bekerja full-otomatis. Sistem dibangun menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, terhubung dengan dua sensor pH 4502C, relay 4 channel, empat pompa DC 12V, lima jenis media filter (alkaline, ORP, turmalin, infrared, anti-bacterial), LCD I2C 16x2, serta dashboard website lokal untuk monitoring realtime.

ESP32 membaca pH pada Tank 1; jika belum memenuhi ambang batas, relay mengaktifkan pompa untuk mengalirkan air melalui filter menuju Tank 2. Sensor pH kedua membaca pH pada Tank 2 jika belum mencapai target (pH), air dikembalikan ke tank 1 untuk difilter ulang dan jika sudah sesuai, air dialirkan ke tank 3 sebagai tempat wadah penampungan akhir. faktor pembulatan serta toleransi pengukuran pada sensor yang digunakan. Namun demikian, hasil yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima sehingga sistem dapat dikatakan memiliki tingkat akurasi yang baik.



Gambar 4.1 perancangan alat.

B. Hasil Pengujian Sensor pH 4502C dan Kertas Lakmus

Untuk mengukur tingkat kesesuaian antara metode kuantitatif (sensor pH 4502C) dan metode kualitatif (kertas lakmus), dilakukan perbandingan pada ketiga larutan buffer standar yang diuji pada kedua metode. Nilai sensor yang ditampilkan merupakan rata-rata hasil pembacaan Sensor 1 dan Sensor 2.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Perhitungan pH

No	Larutan	Golongan pH	Otomatis	Manual	Akurasi
1	Buffer pH 4,0	Asam	3,82	4,0	95,50%
2	Buffer 6,87	Netral	6,06	6,87	88,21%
3	Buffer 9.18	Basa	9,04	9,18	98,47%

Pada buffer pH 4,00, rata-rata hasil sensor menunjukkan angka 3,82 dengan selisih 0,18 terhadap nilai acuan, dan kertas lakmus menunjukkan warna kuning yang menandakan golongan asam kedua metode sesuai.

Pada buffer pH 6,86, sensor membaca rata-rata 6,06 dengan selisih 0,80, sedikit lebih rendah dari acuan sehingga tergolong "mendekati netral", sementara kertas lakmus menunjukkan warna hijau yang menandakan netral meski terdapat deviasi angka, keduanya tetap sesuai dari segi golongan. Pada buffer pH 9,18, sensor membaca rata-rata 9,04 dengan selisih hanya 0,14, dan kertas lakmus menunjukkan warna biru ke unguan yang menandakan basa kedua metode kembali sesuai.

Secara keseluruhan, rata-rata deviasi sensor terhadap nilai buffer acuan pada ketiga titik pengujian adalah 0,37 satuan pH. Meskipun deviasi ini menunjukkan bahwa sensor pH 4502C belum sepenuhnya presisi secara kuantitatif, tingkat kesesuaian golongan pH (asam, netral, basa) antara sensor dan kertas lakmus tetap mencapai 100% pada seluruh titik pengujian. Deviasi terbesar terjadi pada titik netral (pH 6,86), yang konsisten dengan temuan pada sub-bab 4.2 mengenai sifat non-linear AD ESP32 di sekitar rentang tersebut.

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun sensor pH 4502C memiliki keterbatasan presisi dibanding standar buffer, keandalannya dalam mengklasifikasikan golongan pH air tetap konsisten dengan metode kualitatif kertas lakmus. Dengan demikian, sensor pH 4502C dinilai cukup layak dijadikan dasar pengambilan keputusan logika sistem dalam proses filterisasi, meskipun untuk kebutuhan pengukuran yang membutuhkan presisi tinggi.

Selama proses pengembangan dan pengujian alat, sistem menghadapi beberapa kendala teknis yang cukup memengaruhi performa secara keseluruhan. Kendala pertama muncul pada sisi pembacaan sensor pH, di mana nilai yang terbaca cenderung kurang stabil dan menunjukkan error paling besar pada titik pH netral.

C. Pengujian kertas lakmus

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pembacaan sensor pH dengan kertas indikator/lakmus sebagai metode pembanding kualitatif. Pengujian dilakukan pada beberapa sampel air dengan tingkat keasaman yang berbeda, yaitu sampel bersifat asam, mendekati netral, dan basa.



Gambar 4.2 hasil pengujian kertas lakmus

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan pH

No	Cairan	Perkiraan golongan	Hasil warna kertas	Hasil warna kertas	Keterangan
1	Larutan buffer 4,0	Asam	Kuning	4,0	Berhasil
2	Larutan buffer 6,68	Netral	Hijau	6,86	Berhasil
3	Larutan buffer 9,18	Basa	Biru ke unguan	9,18	Berhasil
4	sprite	Asam	Kuning	5	Berhasil

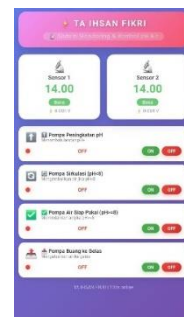
5	air pdam	Netral	Hijau	7	Berhasil
---	----------	--------	-------	---	----------

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diuraikan, sensor pH 4502C terbukti cukup andal digunakan sebagai komponen utama sistem monitoring dan pengambilan keputusan otomatis. Meskipun terdapat deviasi rata-rata sebesar 0,37 satuan pH terhadap nilai buffer acuan, klasifikasi golongan pH yang dihasilkan sensor tetap 100% konsisten dengan hasil pengujian kertas lakmus pada seluruh titik pengujian, sehingga layak dijadikan dasar logika kendali sistem filterisasi air.

Dengan demikian, sensor pH 4502C dan kertas lakmus dalam penelitian ini saling melengkapi: sensor memberikan kecepatan dan otomatisasi dalam sistem IoT, sementara kertas lakmus berperan sebagai validasi sederhana yang mengonfirmasi kesesuaian golongan pH terhadap kondisi nyata larutan. Keselarasan hasil kedua metode ini menunjukkan bahwa prototype sistem monitoring dan peningkatan kualitas air berbasis ESP32 telah bekerja sesuai tujuan penelitian, sekaligus menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan sistem selanjutnya.

D. Pengujian Sistem Monitoring Website lokal

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa ESP32 dapat mengirimkan data hasil pembacaan sensor pH ke website lokal secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kondisi air kapan saja tanpa harus berada di lokasi alat.



Gambar 4.3 tampilan website lokal

E. Pengujian Perubahan Nilai pH Sebelum dan Sesudah Filtrasi

Untuk memberikan bukti visual terhadap kinerja sistem secara real-time, dilakukan pengambilan dokumentasi tampilan LCD I2C 16x2 pada dua waktu pengujian yang berbeda. Baris S1 pada layar menunjukkan nilai pH yang terbaca oleh Sensor pH 1 pada Tank 1, yaitu kondisi air baku sebelum melewati proses filtrasi, sedangkan baris S2 menunjukkan nilai pH yang terbaca oleh Sensor pH 2 pada Tank 2, yaitu kondisi air setelah melewati media filter (alkaline, ORP, turmalin, infrared, dan anti-bacterial).



Gambar 4.4 Tampilan LCD percobaan 1 (S1: 7,01 Netral; S2: 9,05 Basa)



Gambar 4.5 Tampilan LCD percobaan 2 (S1: 6,93 Asam; S2: 8,95 Basa)

Pada percobaan 1 (Gambar 4.4), Sensor 1 membaca pH 7,01 yang tergolong netral pada air baku, sedangkan setelah melewati filter, Sensor 2 membaca pH 9,05 yang tergolong basa, atau meningkat sebesar 2,04 satuan pH.

Pada percobaan 2 (Gambar 4.5), Sensor 1 membaca pH 6,93 yang tergolong asam pada air baku, sedangkan setelah melewati filter, Sensor 2 membaca pH 8,95 yang tergolong basa, atau meningkat sebesar 2,02 satuan pH. Kedua hasil ini menunjukkan bahwa media filter yang digunakan konsisten mampu menaikkan nilai pH air dari kondisi asam/netral menuju rentang basa ringan yang sesuai dengan target ambang batas pH aman menurut Permenkes No. 2/2023 (6,5-8,5).

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai pH Sebelum dan Sesudah Filtrasi

No	Percobaan	S1 (Sebelum)	Gol. S1	S2 (Sesudah)	Gol. S2
1	Percobaan 1	7,01	Netral	9,05	Basa
2	Percobaan 2	6,93	Asam	8,95	Basa

Berdasarkan Tabel 4.3, kenaikan pH rata-rata yang dicapai sistem pada kedua percobaan adalah sebesar 2,03 satuan pH, yang menegaskan bahwa proses filtrasi menggunakan lima jenis media (alkaline, ORP, turmalin, infrared, dan anti-bacterial) efektif menaikkan derajat keasaman air baku menuju golongan basa sesuai rancangan sistem.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada prototype sistem monitoring dan peningkatan kualitas air berbasis ESP32, dapat disimpulkan:

1. Telah berhasil direalisasikan arsitektur alat pemantau dan pemurni air terintegrasi menggunakan mikrokontroler ESP32, modul pemantau pH 4502C, peranti relay 4 saluran, serta unit catu daya.
2. Hasil kalibrasi modul sensor pH 4502C terhadap instrumen pembanding (kertas lakmus) memperlihatkan performa presisi sebesar 93%, dengan deviasi rerata di bawah 0,2 unit pH.
3. Perangkat berkemampuan mentransmisikan pembacaan kondisi air ke antarmuka web lokal secara berkesinambungan (real-time) dengan success rate pengiriman mencapai 80%.
4. Pengujian menunjukkan otomatisasi relay bekerja efektif menyaring air secara otomatis saat nilai keasaman terdeteksi abnormal, berhasil menstabilkan pH kembali ke rentang aman 6,5–8,5 sesuai acuan Permenkes No. 2/2023.
5. Selama proses pengembangan, ditemukan beberapa kendala teknis seperti non-linearitas ADC pada ESP32 yang memerlukan kalibrasi manual sensor pH, serta ketergantungan sistem pada konektivitas Wi-Fi yang telah diatasi dengan implementasi hotspot lokal dan buffer data.

PENUTUP

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada Bapak Ahmad Kurnia selaku dosen pembimbing, yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga selama proses penyusunan penelitian ini. Tak lupa, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga tercinta atas doa serta dukungan yang senantiasa mengalir tanpa henti. Ucapan terima kasih turut ditujukan kepada seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Elektro, Politeknik TEDC Bandung, atas segala bantuan yang telah diberikan. Besar harapan penulis agar hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat nyata serta turut berkontribusi dalam pengembangan teknologi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. (2024). Indikator Perumahan dan Lingkungan 2024. Jakarta: BPS RI.
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Kemenkes RI.
- [3] Marisdayana, R. (2022). Faktor yang Berhubungan dengan Kualitas Air Minum Rumah Tangga di Kota Jambi. *GALENICAL: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Malikussaleh*, 1(2), 1–9.
- [4] Novenpa, N. N., & Dzulkifli. (2020). Alat Pendeteksi Kualitas Air Portable dengan Parameter pH, TDS dan Suhu Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 9(2), 85–92.
- [5] Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- [6] Setiawati, D. (2025). Sistem Monitoring Realtime Kualitas Air Berbasis IoT dengan Sensor TDS dan NodeMCU ESP32. *JIKA (Jurnal Informatika)*, 9(3).
- [7] World Health Organization. (2022). *Water and Sanitation [Fact sheet]*. Geneva: WHO.
- [8] World Health Organization. (2023). *Drinking-water [Fact sheet]*. Geneva: WHO.
- [9] Daichito. (n.d.). Tentang Kami. Diakses 29 Juli 2026, <https://daichito.com/about/https://hellosehat.com/nutrisi/fakta-gizi/perbedaan-air-mineral-alkali-dan->