Perancangan Sistem Deteksi Higiene Sanitasi Air Sungai Berbasis IoT dan Forward Chaining

Adam Bayu Saputra[*1], Septriandi Wirayoga S.T.,M.T.[2]
[12]Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]bayus8476@gmail.com, [2]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone: 081357391072\

Abstrak

Pencemaran air sungai akibat aktivitas rumah tangga, usaha, dan industri memerlukan pemantauan yang dapat dilakukan secara cepat dan jarak jauh. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji alat pendeteksi higiene sanitasi air sungai berbasis Internet of Things (IoT) yang menggabungkan sensor pH 4502C, sensor Total Dissolved Solids (TDS), mikrokontroler ESP32, komunikasi ESP-NOW, Firebase Realtime Database, dan sistem pakar berbasis aturan dengan metode Forward Chaining. Unit sensor ditempatkan pada perahu kendali jarak jauh untuk mengambil data pH dan TDS, kemudian data diklasifikasikan berdasarkan sembilan aturan yang disusun mengacu pada Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017 dan pengetahuan pakar. Jika kondisi air dinyatakan tidak layak, sistem mengaktifkan pompa DC melalui relay. Hasil kalibrasi menunjukkan akurasi sensor TDS meningkat dari 59,06% menjadi 97,33% dengan error rata-rata 2,67%, sedangkan sensor pH 4502C meningkat dari 32,36% menjadi 96,89% dengan error 3,11%. Pengujian pada lima titik sungai dengan masing-masing sepuluh pembacaan menunjukkan sistem mampu membedakan kondisi layak dan tidak layak secara konsisten. Akurasi gabungan parameter mencapai 97,11%. Sistem juga berhasil menampilkan hasil pada OLED dan aplikasi Android secara real-time.

Kata kunci: ESP32, forward chaining, higiene sanitasi, kualitas air sungai, sistem pakar

Abstract

River water pollution caused by domestic, commercial, and industrial activities requires monitoring that can be performed rapidly and remotely. This study aims to design and test an Internet of Things (IoT)-based river water sanitation hygiene detector integrating a 4502C pH sensor, Total Dissolved Solids (TDS) sensor, ESP32 microcontroller, ESP-NOW communication, Firebase Realtime Database, and a rule-based expert system using Forward Chaining. The sensor unit is mounted on a remotely controlled boat to acquire pH and TDS data, which are classified using nine rules developed from Ministry of Health Regulation No. 32 of 2017 and expert knowledge. When the water is classified as unsuitable, the system activates a DC pump through a relay. Calibration results show that TDS sensor accuracy increased from 59.06% to 97.33% with a mean error of 2.67%, while the 4502C pH sensor accuracy increased from 32.36% to 96.89% with a 3.11% error. Tests at five river locations with ten readings per location showed that the system consistently distinguished suitable and unsuitable conditions. The combined parameter accuracy reached 97.11%. The system also successfully displayed monitoring results on an OLED and Android application in real time.

***Keywords**: ESP32, expert system, forward chaining, river water quality, sanitation hygiene*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Pencemaran badan air sungai dapat berasal dari limbah rumah tangga, aktivitas usaha, dan kegiatan industri. Pemantauan manual memiliki keterbatasan karena membutuhkan pengambilan sampel dan pemeriksaan yang tidak selalu dapat dilakukan secara cepat pada lokasi yang sulit dijangkau. Sistem monitoring berbasis IoT dapat membantu memperoleh dan menyajikan data kualitas air secara lebih praktis melalui jaringan komunikasi dan perangkat seluler [1], [2].

Parameter pH dan Total Dissolved Solids (TDS) merupakan dua parameter yang digunakan pada penelitian ini untuk menggambarkan kondisi air. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sensor pH dan TDS dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk pemantauan kualitas air [4], [8], [13]. Pada

penelitian berbasis IoT, hasil pengukuran juga dapat dikirim ke aplikasi sehingga pengguna dapat memperoleh informasi kondisi air dari jarak jauh [2], [7].

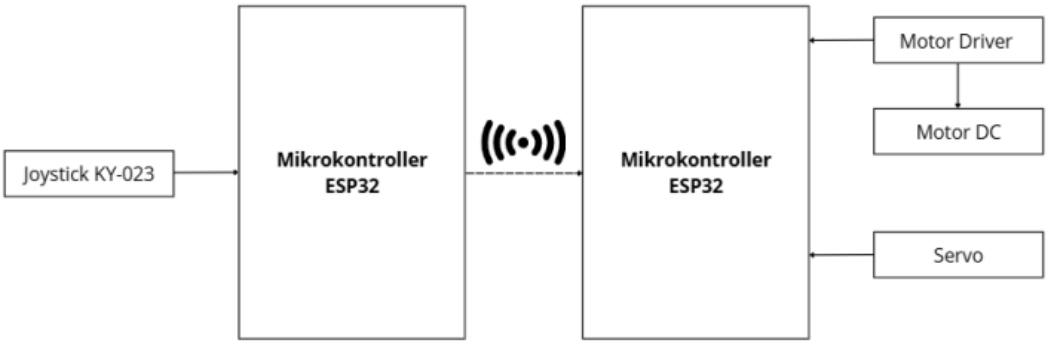
Selain pengukuran, penelitian ini menambahkan proses pengambilan keputusan menggunakan sistem pakar berbasis aturan. Metode Forward Chaining sesuai digunakan karena proses inferensi dimulai dari fakta yang diperoleh kemudian bergerak menuju kesimpulan. Pendekatan tersebut telah digunakan pada diagnosis kualitas air [3]. Pada sistem yang dikembangkan, fakta berupa kondisi pH dan TDS dipetakan ke sembilan kombinasi aturan untuk menentukan status air layak atau tidak layak.

Penelitian bertujuan merancang dan menguji sistem pendeteksi higiene sanitasi air sungai berbasis ESP32 dengan sensor pH 4502C dan TDS, menerapkan Forward Chaining untuk klasifikasi otomatis, serta mengirimkan hasil pemantauan melalui ESP-NOW dan Firebase. Batasan pengujian mengikuti skripsi, yaitu fokus pada pH dan TDS, dilakukan pada sungai dengan arus lemah, serta dipengaruhi keterbatasan jarak komunikasi ESP32. Acuan kelayakan menggunakan rentang pH 6,5–8,5 dan TDS kurang dari 500 ppm sesuai pendekatan yang digunakan dalam penelitian [9].

2. METODE PENELITIAN

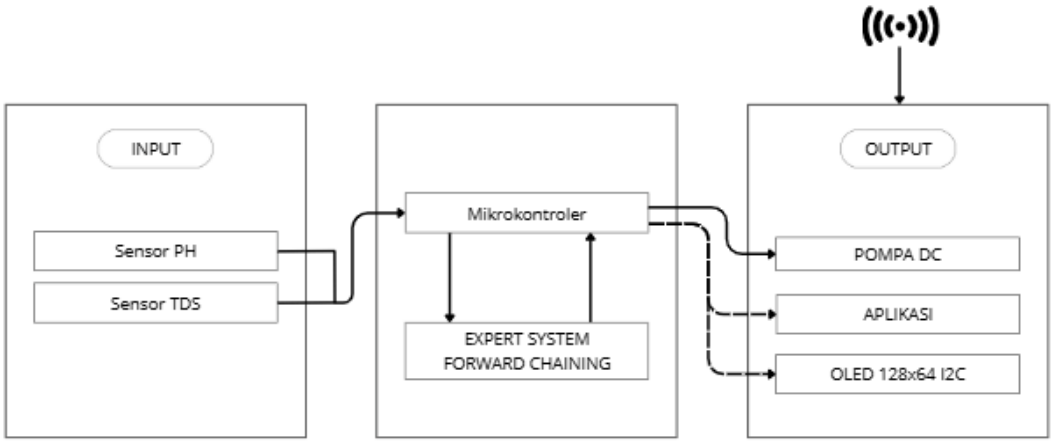
2.1 Rancangan Sistem

Penelitian menggunakan pendekatan perancangan dan pengujian eksperimental. Sistem dibagi menjadi unit kendali perahu dan unit monitoring. Unit kendali menggunakan joystick KY-023, ESP32 transmitter, ESP32 receiver, motor DC melalui driver motor, dan servo. Unit monitoring menerima data sensor pH 4502C dan TDS, memprosesnya pada ESP32, menjalankan expert system Forward Chaining, serta mengendalikan pompa DC dan menampilkan hasil pada OLED 128×64 I2C dan aplikasi Android melalui Firebase.



Gambar 1. Diagram blok sistem kendali perahu

Gambar 1 menunjukkan alur kendali perahu. Perintah joystick diproses oleh ESP32 transmitter dan dikirim melalui ESP-NOW ke ESP32 receiver. Receiver meneruskan perintah ke aktuator penggerak berupa motor DC dan servo.



Gambar 2. Diagram blok sistem monitoring dan diagnosis

Pada Gambar 2, sensor pH dan TDS menjadi masukan sistem. Data diproses oleh ESP32 dan diteruskan ke expert system. Hasil diagnosis digunakan untuk mengaktifkan pompa jika kondisi air tidak layak, sedangkan nilai parameter dan status diagnosis dikirim untuk ditampilkan pada OLED dan aplikasi.

2.2 Parameter dan Proses Pengujian

Variabel bebas penelitian adalah nilai pH dan nilai TDS hasil pembacaan sensor, sedangkan variabel terikat adalah hasil klasifikasi kelayakan air yang dihasilkan expert system. Kondisi air sungai selama pengambilan data menjadi variabel kontrol. Pengujian dilakukan melalui tiga tahap utama: pengujian awal sensor, kalibrasi dan pemetaan nilai, kemudian pengujian sistem keseluruhan pada lima titik sungai dengan sepuluh pembacaan setiap titik.

Akurasi sensor dihitung dari error relatif terhadap alat ukur pembanding. Secara umum, error dihitung menggunakan perbandingan nilai selisih absolut pembacaan sensor terhadap nilai alat ukur, sedangkan akurasi diperoleh dari 100% dikurangi error rata-rata. Perhitungan tersebut digunakan untuk membandingkan performa sebelum dan sesudah kalibrasi.

Untuk sensor pH 4502C, kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan tegangan referensi terhadap ADC ESP32. Program awal menggunakan referensi 2,5 V, kemudian diubah menjadi 1,65 V sesuai setengah tegangan 3,3 V ESP32 dan titik netral pH 7. Untuk sensor TDS, dilakukan pemetaan nilai pembacaan terhadap alat ukur TDS meter agar keluaran sensor lebih mendekati nilai referensi.

2.3 Forward Chaining dan Rule Base

Data sensor terlebih dahulu diubah menjadi fakta linguistik, yaitu pH ideal atau tidak ideal dan TDS ideal atau tidak ideal. Berdasarkan pengetahuan pakar dan acuan Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017, kondisi tersebut diproses menggunakan sembilan kombinasi rule. Inferensi dilakukan dari fakta menuju diagnosis tanpa memerlukan pencarian mundur. Jika kedua parameter berada pada kondisi ideal, sistem menghasilkan status Air Layak. Jika salah satu atau kedua parameter tidak ideal, sistem menghasilkan Air Tidak Layak dan mengaktifkan pompa.

Secara konseptual, rule base dapat ditulis sebagai: IF pH ideal AND TDS ideal THEN Air Layak; IF pH ideal AND TDS tidak ideal THEN Air Tidak Layak; IF pH tidak ideal AND TDS ideal THEN Air Tidak Layak; dan IF pH tidak ideal AND TDS tidak ideal THEN Air Tidak Layak. Implementasi program menguraikan kombinasi kondisi tersebut menjadi sembilan aturan diagnosis sesuai basis pengetahuan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kalibrasi Sensor

Pengujian awal menunjukkan bahwa kedua sensor membutuhkan pemetaan agar pembacaan lebih mendekati alat ukur pembanding. Pada sensor TDS, akurasi sebelum kalibrasi sebesar 59,06%. Setelah mapping, error rata-rata menjadi 2,67% sehingga akurasi meningkat menjadi 97,33%. Data setelah kalibrasi terdiri dari lima titik pembanding dengan selisih error berturut-turut 2,40%, 5,57%, 1,59%, 1,31%, dan 2,49%.

Sensor pH 4502C juga menunjukkan peningkatan besar. Sebelum kalibrasi, pembacaan sensor memiliki rata-rata selisih 4,64 terhadap acuan buffer dan akurasi 32,36%. Setelah tegangan referensi disesuaikan menjadi 1,65 V, pembacaan buffer menghasilkan error 4,24%, 2,04%, dan 3,05% dengan rata-rata 3,11%, sehingga akurasi menjadi 96,89%.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Akurasi Sensor

Parameter	Sebelum kalibrasi	Sesudah kalibrasi	Error sesudah
TDS	59,06%	97,33%	2,67%
pH 4502C	32,36%	96,89%	3,11%
Gabungan	-	97,11%	2,89%

Tabel 1 memperlihatkan bahwa proses kalibrasi memberikan pengaruh dominan terhadap peningkatan ketelitian kedua sensor. Peningkatan paling besar terjadi pada sensor pH karena

ketidaksesuaian tegangan referensi pada program awal dengan karakteristik ADC ESP32. Pada TDS, mapping mengurangi perbedaan pembacaan terhadap TDS meter. Hasil ini konsisten dengan pengujian pada skripsi yang menyatakan bahwa proses mapping meningkatkan keandalan pembacaan parameter [8], [13].

3.2 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan pada lima titik sungai dan setiap titik memperoleh sepuluh pembacaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sungai 1, 2, dan 3 memiliki pH serta TDS pada kondisi tidak ideal sehingga seluruh pembacaan didiagnosis Air Tidak Layak dan pompa menyala. Sungai 4 memiliki pH pada kondisi ideal, tetapi TDS berada di atas ambang sehingga tetap didiagnosis Air Tidak Layak. Sungai 5 menunjukkan pH dan TDS ideal pada seluruh pembacaan sehingga didiagnosis Air Layak dan pompa tidak menyala.

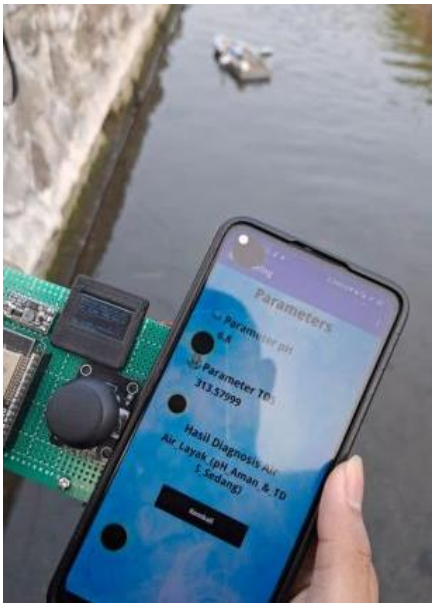
Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Lima Titik Sungai

Titik	Rentang pH	Rentang TDS (ppm)	Diagnosis	Respons pompa
Sungai 1	3,80–4,00	714,10–728,03	Tidak Layak	Menyala
Sungai 2	≈3,85–4,00	≈624,84–634,72	Tidak Layak	Menyala
Sungai 3	3,95–4,50	544,19–550,90	Tidak Layak	Menyala
Sungai 4	7,55–7,80	872,53–880,56	Tidak Layak	Menyala
Sungai 5	6,79–6,85	280,58–323,65	Layak	Tidak menyala

Tabel 2 menunjukkan bahwa rule base mampu menghasilkan keputusan yang konsisten terhadap kondisi parameter. Sungai 4 menjadi contoh penting bahwa pH yang ideal belum cukup untuk menghasilkan status layak karena TDS masih tinggi. Sebaliknya, sungai 5 memenuhi kedua parameter sehingga sistem tidak mengaktifkan pompa. Pola tersebut menunjukkan bahwa Forward Chaining tidak hanya membaca satu parameter, tetapi menggabungkan fakta pH dan TDS sesuai aturan yang telah ditentukan.

3.3 Integrasi IoT dan Respons Aktuator

Komunikasi ESP-NOW digunakan untuk mengirimkan data dari unit sensor pada perahu menuju unit penerima pada remot. Data yang diterima kemudian ditampilkan pada OLED 128×64 I2C dan dikirim melalui Wi-Fi menuju Firebase Realtime Database. Aplikasi Android berbasis MIT App Inventor menampilkan nilai parameter dan hasil diagnosis sehingga pengguna dapat memantau kondisi air dari jarak jauh. Hasil ini menunjukkan integrasi komunikasi lokal dan cloud dapat berjalan sesuai rancangan, sejalan dengan penggunaan ESP-NOW untuk komunikasi antar-ESP32 [6] dan konsep monitoring kualitas air melalui aplikasi [2].



Gambar 3. Pengujian pemantauan dan diagnosis melalui aplikasi

Gambar 3 memperlihatkan implementasi pemantauan pada kondisi lapangan. Nilai parameter dan hasil diagnosis dapat dilihat melalui perangkat seluler, sedangkan sistem kendali tetap menyediakan tampilan OLED. Dengan demikian, fungsi monitoring tidak hanya bergantung pada pemeriksaan langsung terhadap sensor.

3.4 Pembahasan Kinerja Sistem Pakar

Basis pengetahuan menghasilkan sembilan kombinasi rule untuk menangani variasi kondisi pH dan TDS. Hasil pengujian lima lokasi menunjukkan sistem mampu menghasilkan diagnosis instan dan menjalankan respons pompa sesuai status. Pada sungai 1–4 yang memiliki indikasi kontaminasi, status tidak layak dihasilkan secara konsisten. Pada sungai 5, kedua parameter berada pada rentang ideal sehingga sistem memberikan status layak. Hasil ini mendukung tujuan penelitian untuk mengubah data sensor menjadi informasi keputusan yang lebih mudah dipahami pengguna.

Akurasi gabungan sistem sebesar 97,11% dihitung dari rata-rata akurasi parameter TDS dan pH. Nilai tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor setelah kalibrasi cukup baik untuk fungsi monitoring yang dirancang. Namun, hasil diagnosis tetap harus dipahami sebagai indikator berdasarkan dua parameter yang digunakan, bukan pengganti pengujian laboratorium terhadap seluruh parameter kualitas air. Keterbatasan ini sesuai dengan ruang lingkup penelitian yang hanya mengukur pH dan TDS.

4. KESIMPULAN

Sistem pendeteksi higiene sanitasi air sungai berhasil dirancang dengan mengintegrasikan ESP32, sensor pH 4502C, sensor TDS, komunikasi ESP-NOW, Firebase, OLED, aplikasi Android, dan expert system Forward Chaining. Kalibrasi melalui penyesuaian tegangan referensi dan mapping meningkatkan akurasi TDS dari 59,06% menjadi 97,33% dan pH dari 32,36% menjadi 96,89%, dengan akurasi gabungan 97,11%. Pengujian lima titik sungai menunjukkan rule base mampu mengklasifikasikan air layak atau tidak layak berdasarkan kombinasi pH dan TDS serta mengaktifkan pompa secara otomatis pada kondisi tidak layak. Sistem juga berhasil menyajikan hasil pemantauan secara real-time melalui OLED dan aplikasi Android. Dengan demikian, rancangan dapat digunakan sebagai alat bantu monitoring lapangan, dengan catatan bahwa cakupan diagnosis terbatas pada parameter yang diukur dan kondisi pengujian penelitian.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] D. W. Mujib, A. T. Hanuranto, dan R. Mayasari, “Pengukuran Sistem Monitoring Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai,” e-Proceeding of Engineering, vol. 7, no. 2, pp. 3819–3829, 2020.

[2] G. J. Latukolan dan A. W. Wastumirad, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Sungai Berbasis Aplikasi Smartphone,” Jurnal JTIK, vol. 8, no. 2, pp. 255–264, 2024, doi: 10.35870/jtik.v8i2.1511.

[3] A. Firmansyah dan A. A. Sunarto, “Rancangan Aplikasi Diagnosis Kualitas Air Tawar Menggunakan Metode Forward Chaining,” Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer, vol. 16, no. 2, p. 143, 2020, doi: 10.35889/progresif.v16i2.520.

[4] D. Abimanyu, S. Sumarno, F. Anggraini, I. Gunawan, dan I. Parlina, “Rancang Bangun Alat Pemantau Kadar pH, Suhu Dan Warna Pada Air Sungai Berbasis Mikrokontroller Arduino,” Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia, vol. 1, no. 6, pp. 235–242, 2021, doi: 10.52436/1.jpti.55.

[5] S. S. Kondukt, “Tipe Aplikasi: Spesifikasi Sensor Kondukt Konduktivitas,” datasheet sensor TDS.

[6] R. Pasic, “ESP-NOW communication protocol with ESP32,” 2021, pp. 53–60, doi: 10.37886/ip.2021.019.

[7] A. A. Putri, S. Fuada, dan E. Setyowati, “Sistem Pendeteksi Gas Amonia Menggunakan MQ-137 Pada Air Berbasis Internet of Things Dengan Aplikasi Blynk di Android,” Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika, vol. 22, no. 2, pp. 285–304, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i2.390.

[8] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni, dan 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, doi: 10.18196/jrc.25107.

[9] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum,” 2017.
[10] I. Vipriyandhito, A. P. Kusuma, dan D. F. H. Permadi, “Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Pada Kolam Ikan Koi Berbasis Arduino,” JATI, vol. 6, no. 2, pp. 875–879, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5768.
[11] I. Desti dan A. Ula, “Analisis Sumber Daya Alam Air,” Jurnal Sains Edukatika Indonesia, vol. 3, no. 2, pp. 17–24, 2021.
[12] R. A. Ma’rifat dan I. M. Suraharta, Analisis Kualitas Lingkungan, vol. 2, 2024.
[13] F. Chuzaini dan Dzulkiflih, “IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu, pH, dan Total Dissolved Solids (TDS),” Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, vol. 11, no. 3, pp. 46–56, 2022.
[14] A. R. Halim, M. Saiful, dan L. Kertawijaya, “Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Pintar Berbasis Internet of Things,” Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi, vol. 5, no. 1, pp. 117–127, 2022.
[15] D. Irawan dan E. Fitriani, “Rancang Robot Pemotong Rumput Otomatis Berbasis Arduino Uno Dengan Sistem Kendali Aplikasi Blynk,” Jurnal Ampere, vol. 6, no. 2, pp. 65–74, 2021.