

PEMANTAUAN KUALITAS AIR DI AREA PEMBUANGAN PABRIK BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

MONITORING OF WATER QUALITY IN RIVER AREAS FACTORY DISPOSAL BASED ON ESP32 MICROCONTROLLER

Silvi Dahlia Putri¹, Dr. Sugondo Hadiyoso, S.T., M.T.², Unang Sunarya, Ph.D.³

^{1,2}Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom, Bandung

³D3 Teknologi Telekomunikasi

¹silvidahlia27@gmail.com, ²sugondo@telkomuniversity.ac.id, ³unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Air telah menjadi salah satu kebutuhan utama manusia, khususnya pada aliran air sungai yang terhubung dengan pembuangan Industri. Ada kemungkinan air yang dekat dengan Industri telah tercemar, sehingga membahayakan masyarakat setempat. Oleh karena itu, perlu adanya pemantauan kualitas air tersebut, sehingga dapat diketahui air tersebut tercemar atau tidak. Persyaratan kualitas air yang berkaitan dengan kesehatan diantaranya kadar pH, jumlah zat padat terlarut, dan kekeruhan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dirancang suatu sistem pemantauan kualitas air sungai berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem pemantauan ini menggunakan sensor pH untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan, TDS (*Total Dissolved Solid*) untuk mengukur jumlah padatan atau partikel terlarut didalam air, dan *Turbidity* untuk mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya. Kemudian, data tersebut akan dikirimkan ke *Firebase* dengan aplikasi MIT App Inventor.

Maka Implementasi alat yang telah dirancang menunjukkan bahwa ia mampu mendeteksi nilai pH sebesar 4.8-6.9, nilai kekeruhan sebesar 3.01-3.05 NTU dan nilai partikel terlarut 5180-9700 ppm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa air mengindikasikan adanya permasalahan dalam kualitas air yang dapat membawa implikasi negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan demikian, harapannya adalah bahwa hasil implementasi perangkat ini dapat menjadi dasar penting untuk pengembangan solusi lebih lanjut dalam mengatasi masalah kualitas air.

Kata kunci : sistem pemantauan, air sungai, *Internet of Things* (IoT).

Abstract

Water has become one of the main needs of humans, especially in river water flow which is connected with industrial disposal. There is a possibility that the water close to the Industry has been polluted, thereby endangering the local community. Therefore, it is necessary to monitor the quality of the water, so that it can be known whether the water is polluted or not. Water quality requirements that are directly related to health include pH levels, amount of dissolved solids, and turbidity.

To overcome these problems, an *Internet of Things* (IoT) based river water quality monitoring system will be designed. This monitoring system uses a pH sensor to measure the degree of acidity or alkalinity of a solution, TDS (*Total Dissolved Solid*) to measure the amount of dissolved solids or particles in water, and *Turbidity* to measure water quality by detecting its turbidity level. Then, the data will be sent to *Firebase* using the MIT App Inventor application.

The results of the implemented device indicate that it is capable of detecting pH values ranging from 5 to 6.5, turbidity values of 3.01-3.02 NTU, and dissolved particle levels of 9032-9700 ppm. From this statement, it can be inferred that the water demonstrates issues with its quality, which could have negative implications for both the environment and human health. Thus, the hope is that the implementation results of this device can serve as a crucial foundation for further solution development in addressing water quality issues.

Keyword : Monitoring system, river water, *Internet of Things* (IoT).

1. PENDAHULUAN

Air adalah sumber kehidupan bagi makhluk hidup di bumi. Sekitar 50% hingga 70% dari massa tubuh kita terdiri dari air, termasuk kulit, jaringan tubuh, sel dan semua organ di mana kadar tertinggi terdapat dalam otak dan darah manusia. Sehingga manusia membutuhkan air bersih agar dapat terus melakukan aktivitas dengan

normal. Namun sayangnya kerusakan lingkungan air yang ada di lingkungan sekitar kita tercemar merupakan ulah manusia seperti kesalahan dalam membuat galian air tanah yang terlalu dangkal ataupun terlalu dekat dengan Septic Tank [1].

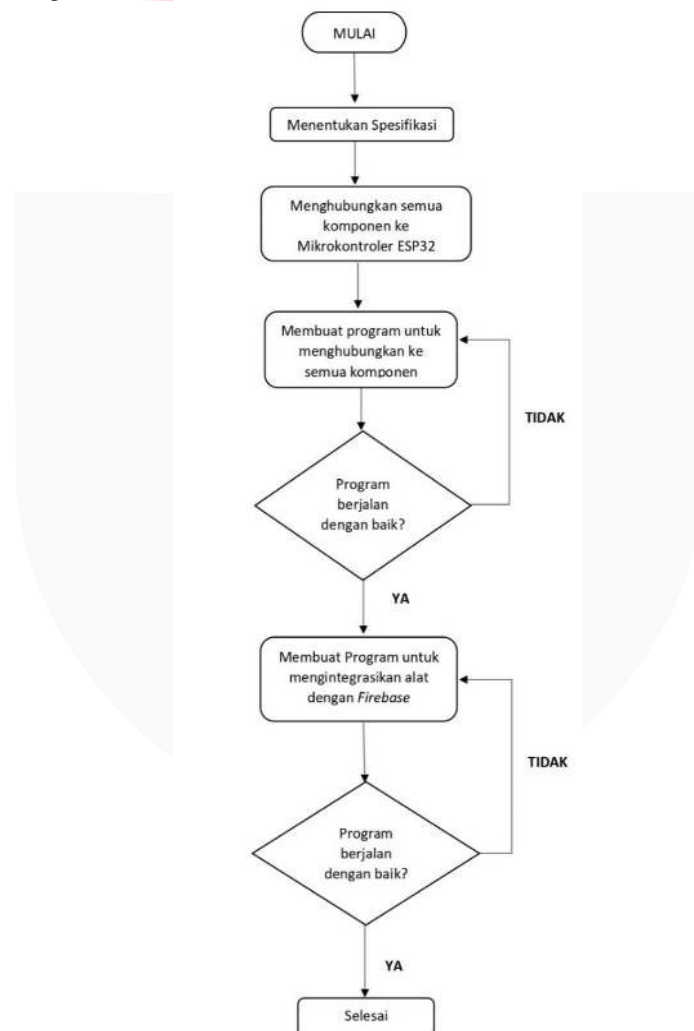
Adapun kualitas air adalah kondisi umum dari air yang menggambarkan kandungan bahan kimia, fisika dan biologi dari air dengan menggunakan acuan tertentu. Salah satu yang mempengaruhi kualitas air yaitu limbah cair industri yang merupakan sisa buangan yang dihasilkan dari sebuah proses produksi pada suatu industri dalam bentuk cair. Jumlah dari limbah cair industri skalanya lebih besar daripada limbah skala domestik atau rumah tangga serta memiliki dampak pada lingkungan yang lebih besar daripada limbah domestik [2].

Setiap ada air limbah yang diproses atau langsung dibuang ke lingkungan, tentu diperlukan cara yang sesuai dan terpercaya untuk mengetahui efek dari limbah tersebut ke lingkungan. Untuk melakukan ini, diperlukan informasi dan data banyaknya kuantitas polutan didalam air [3].

Melalui studi ini, telah diciptakan suatu perangkat yang memiliki kemampuan untuk memantau kondisi air yang layak untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari menggunakan *Internet of Things* (IoT). Syarat yang diukur diantaranya kadar pH, jumlah zat padat terlarut, dan tingkat kekeruhan air apakah masih layak digunakan atau tidak. Perangkat ini dapat memantau kualitas air sungai yang diukur menggunakan sensor-sensor tersebut, kemudian diolah menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan ke dalam database online yang kemudian diteruskan ke *website firebase*. Sehingga kita dapat membaca nilai pada *web* yang akan ditampilkan melalui Smartphone.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI/PERANCANGAN

Proses perancangan perangkat ini dilakukan dengan metode eksperimental, pada Gambar 3.4 merupakan flowchart tahapan perancangan.



Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan Deteksi Kualitas Air Sungai

1. Penentuan spesifikasi

Langkah awal dalam pembuatan perangkat ini adalah dengan menentukan rancangan untuk mengintegrasikan semua komponen agar dapat bekerja dengan di atur oleh Mikrokontroler ESP32, kemudian perangkat tersebut dapat mengirimkan data ke *Firebase*.

2. Menghubungkan Komponen dengan Mikrokontroler ESP32

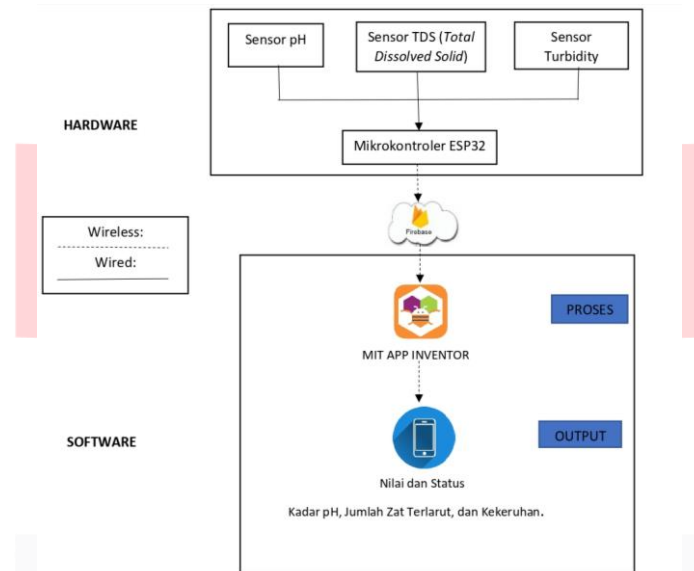
Semua elemen akan dihubungkan dengan Mikrokontroler ESP32 melalui penghubungan antar pin menggunakan expansion board ESP32.

3. Membuat program untuk mengintegrasikan semua komponen dengan Mikrokontroler ESP32

Pengembangan program untuk menyatukan komponen tersebut menggunakan Bahasa pemrograman Arduino C++.

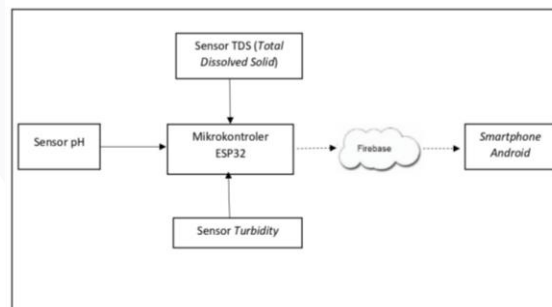
2.1 Perancangan Sistem Pengukuran Kualitas Air

Blok Diagram keseluruhan pada system monitoring Kualitas Air di Area Sungai Pembuangan Pabrik Berbasis Mikrokontroler ESP32 dapat dilihat pada Gambar 3.1.

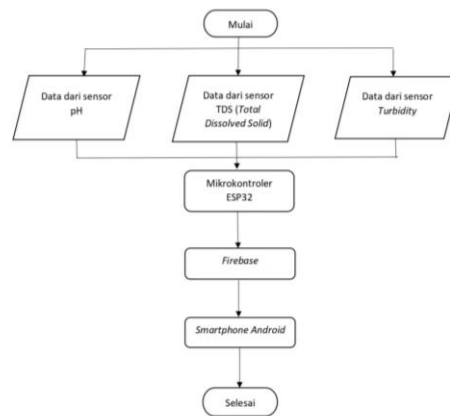


Gambar 3.1 Blok Diagram alat yang akan dibuat

Hardware akan mendeteksi Kadar pH, Kekeruhan, dan Zat Padat Terlarut dari data yang didapatkan. Kemudian hasilnya akan disalurkan ke Mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan ke *Baas*. Alat tersebut akan mengidentifikasi derajat keasaman atau kebasaan dari larutan dengan satuan , mendeteksi partikel atau zat pada air dengan satuan ppm (*Part Per Million*), mendeteksi tingkat kekeruhan dengan satuan . Perangkat yang telah dirancang akan terhubung dengan sebuah situs *web* melalui *Baas*. Data yang dikirim ke *Baas* akan diproses di situs *web* untuk memfasilitasi pengamatan dan analisis lebih lanjut oleh pengguna.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Keseluruhan



Gambar 3.3 Flowchart Sistem Pemantauan Kualitas Air Sungai

Pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3, dapat dijelaskan yaitu terdapat 3 sensor sebagai input data yang dihubungkan ke Mikrokontroler ESP32 diantaranya pH, TDS, *Turbidity* kemudian untuk output-nya adalah *smartphone* android dan Baas. Sistem *hardware* akan melakukan pemantauan data pengujian kualitas air dengan menggunakan sensor pH, TDS, *Turbidity* pada air sungai pembuangan pabrik, selanjutnya semua data akan dikelola oleh Mikrokontroler ESP32 akan dikirimkan *firebase* dan ditampilkan pada *smartphone android*.

2.2 Keterangan Gambar

Hanya gambar yang memiliki relevansi secara langsung dengan paparan yang boleh dicantumkan dalam artikel.

3. HASIL PENELITIAN/HASIL PENGUKURAN, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan akan dijelaskan pengujian dan analisis untuk perangkat pemantauan kualitas air yang telah dibuat oleh peneliti.

3.1 Hasil Kalibrasi Sensor

Pada bagian ini telah dilakukan kalibrasi sensor dengan cara membandingkan sensor pH, TDS, dan *turbidity* dengan menggunakan alat ukur standar.

Tabel 4.1 Data Hasil Kalibrasi Sensor pH,TDS, dan *Turbidity*

Percobaan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Rata-rata
Produk PA	pH	6.1	6.2	5.2	6.3	6.3	5.2	6.3	6.2	6.2	6.4	6.4	6.3	5.2	6.2	5.2	5.3	6.9	5.3	6.4	5.9	6.2
	TDS	9600	9032	9164	9232	9268	9304	9308	9292	9304	9136	9312	9320	9328	9652	9328	9328	9280	9320	9308	9296	9237
	Turbidity	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
Alat Standar	pH	7.7	7.5	7.7	7.9	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	7.7	7.7	7.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
	TDS	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120
	Turbidity	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02

Produk PA merupakan sensor yang dikembangkan oleh tim peneliti, yang digunakan untuk mengukur parameter seperti pH, TDS, dan *turbidity* dalam sample air sungai. Sensor ini memiliki hasil pengukuran yang kemudian dibandingkan dengan alat standar, yang merujuk pada perangkat pengukur yang telah terkalibrasi dan diakui secara industri sebagai acuan yang akurat dalam mengukur parameter yang sama. Dalam hasil pengujian, perbandingan antara sensor Produk PA dan alat standar digunakan untuk mengidentifikasi keakuratan dan ketepatan hasil pengukuran sensor dalam berbagai kondisi pengujian.

3.2 Pengujian Akurasi Pengiriman Data

Dalam pengujian ini, dilakukan perbandingan antara data yang dikirim oleh perangkat dengan data yang diterima oleh awan (*cloud*). Hasil dari pengiriman data dari perangkat tersebut dapat diterima semuanya oleh *cloud firebase* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Akurasi Data

No	pH-Sensor	pH-Server	TDS(ppm)-Sensor	TDS(ppm)-Server	Turbiditas (NTU)-Sensor	Turbiditas (NTU)-Server
1	6.1	6.1	9600	9600	3.02	3.02
2	6.2	6.2	9032	9032	3.02	3.02
3	5.2	5.2	9164	9164	3.02	3.02
4	6.3	6.3	9268	9268	3.02	3.02
5	6.3	6.3	9304	9304	3.02	3.02
6	5.2	5.2	9308	9308	3.02	3.02
7	6.3	6.3	9780	9780	3.02	3.02
8	5.2	5.2	9292	9292	3.02	3.02
9	6.2	6.2	9304	9304	3.02	3.02
10	6.4	6.4	9136	9136	3.02	3.02
11	6.4	6.4	9312	9312	3.02	3.02
12	6.3	6.3	1092	1092	3.02	3.02
13	5.2	5.2	9812	9812	3.02	3.02
14	5.2	5.2	9652	9652	3.02	3.02
15	6.3	6.3	9328	9328	3.02	3.02
16	5.2	5.2	9328	9328	3.02	3.02
17	6.4	6.4	9320	9320	3.02	3.02
18	5.3	5.3	9308	9308	3.02	3.02
19	6.4	6.4	9308	9308	3.02	3.02
20	5.9	5.9	9296	9296	3.02	3.02

Hasil dari pengiriman data sensor ke *firebase* adalah sebagai berikut:

1. Pada pengukuran pertama, sensor pH menunjukkan nilai 6.1, sesuai dengan nilai server yang juga 6.1. Nilai TDS yang terdeteksi oleh sensor adalah 9600 ppm, sesuai dengan nilai server 9600 ppm. Begitu pula pada nilai *turbidity*, sensor dan server menunjukkan nilai yang sama, yaitu 3.02 NTU.
2. Pada pengukuran kedua, hasil pengukuran sensor pH adalah 6.2, sama dengan nilai server 6.2. Nilai TDS yang terbaca oleh sensor adalah 9032 ppm, sesuai dengan nilai server 9032 ppm. Kembali, nilai *turbidity* dari sensor dan server adalah 3.02 NTU.
3. Pengukuran ketiga menghasilkan pengiriman data sensor pH sebesar 5.2, yang sesuai dengan data server 5.2. Data TDS yang dikirim dari sensor adalah 9164 ppm, sesuai dengan data server 9164 ppm. Nilai turbiditas yang dikirim dari sensor dan server tetap pada 3.02 NTU.
4. Pada pengukuran keempat, sensor pH yang dikirim ke *firebase* dan data server adalah 6.3. Data TDS dari sensor dan server adalah 9268 ppm. Nilai *turbidity* tetap stabil pada 3.02 NTU.

3.3 Pengujian Pada Beberapa Jenis Air Sungai

Pada pengujian ini akan melakukan pengambilan data oleh perangkat pada beberapa titik yaitu air sungai di area pabrik PT. Gracia Mega Karya yang berlokasi di Jl. Raya Dayeuhkolot No.108, Dayeuhkolot, Kec. Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung, Jawa Barat 40258 seperti pada tabel 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6.

Tabel 4.3 Pengukuran Pada Titik 1 Air Sungai

Percobaan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Produk PA	pH	6.1	6.2	5.2	6.3	6.3	5.2	6.3	6.2	6.2	6.4	6.4	6.3	5.2	6.2	5.2	5.3	6.9	5.3	6.4	5.9
	TDS	9600	9032	9164	9232	9268	9304	9308	9292	9304	9136	9312	9320	9328	9652	9328	9328	9280	9320	9308	9296
	Turbidity	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02

Tabel 4.4 Pengukuran Pada Titik 2 Air Sungai

Percobaan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Produk PA	pH	5	5	6	5.4	6.1	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	6.3	6.3	5.6	6.4	6.4	5.6	6.5
	TDS	6696	6680	6708	6680	6700	6680	6644	6504	6700	6632	6624	6608	6580	6580	6588	6544	6580	6540	6524	6332
	Turbidity	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02

Tabel 4.5 Pengukuran Pada Titik 3 Air Sungai

Percobaan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Produk PA	pH	5	5	6	5.4	6.1	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	6.3	6.3	5.6	6.4	6.4	5.6	6.5
	TDS	5708	5752	5792	5776	5808	5756	5712	5168	5208	5708	5196	5144	5804	5220	5296	5272	5180	5320	5248	5292
	Turbidity	3.03	3.02	3.04	3.03	3.02	3.03	3.02	3.03	3.02	3.03	3.03	3.02	3.02	3.03	3.02	3.03	3.02	3.02	3.03	3.02

Tabel 4.6 Pengukuran Pada Titik 4 Air Sungai

Percobaan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Produk PA	pH	5.5	5	5.7	5.2	5.1	5	4.8	5.9	5.7	4.8	5.9	5.2	5.6	5.9	5	4.7	5.5	5	5.7	5.7
	TDS	5580	5556	5548	5564	5576	5620	5600	5812	5248	5480	5516	5492	5548	5580	5512	5520	5520	5544	5496	5516
	Turbidity	3.03	3.02	3.03	3.03	3.01	3.03	3.03	3.05	3.02	3.03	3.03	3.03	3.02	3.03	3.01	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03

Pada empat titik pengukuran yang berbeda, hasil pengujian air sungai sebagai berikut:

Titik Pengujian 1:

- pH: Rata-rata nilai pH sekitar 6.15
- TDS: Rata-rata nilai TDS sekitar 9220 ppm
- *Turbidity*: Nilai turbidity tetap konsisten pada 3.02 NTU

Titik Pengujian 2:

- pH: Rata-rata nilai pH sekitar 5.6
- TDS: Rata-rata nilai TDS sekitar 6600 ppm
- *Turbidity*: Nilai turbidity tetap konsisten pada 3.01 NTU

Titik Pengukuran 3:

- pH: Rata-rata nilai pH sekitar 5.6
- TDS: Rata-rata nilai TDS sekitar 5560 ppm
- *Turbidity*: Nilai turbidity berkisar antara 3.02 hingga 3.05 NTU

Titik Pengujian 4:

- pH: Rata-rata nilai pH sekitar 4.97
- TDS: Rata-rata nilai TDS sekitar 5537 ppm
- *Turbidity*: Nilai turbidity berkisar antara 3.01 hingga 3.05 NTU

Dari hasil pengujian ini, dapat dilihat bahwa nilai pH dan TDS dalam beberapa titik pengukuran memiliki variasi yang signifikan. *Nilai turbidity* cenderung tetap konsisten di setiap titik pengukuran. Variasi ini dapat menunjukkan adanya perbedaan kualitas air di berbagai lokasi pengujian. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk menginterpretasikan implikasi dari variasi-nilai ini terhadap kualitas air, lingkungan, dan kesehatan masyarakat di setiap titik pengujian.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut :

1. Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan, diperoleh perancangan sistem pemantauan kualitas air sungai menggunakan Mikrokontroler ESP32.
2. Berdasarkan implementasi desain, perangkat sistem pemantauan telah berhasil direalisasikan kualitas air sungai menggunakan Mikrokontroler ESP32.
3. Nilai pH berada dalam rentang 4.8 hingga 6.9. Rentang nilai pH ini menunjukkan variasi tingkat keasaman dalam air yang dapat memiliki dampak pada keseimbangan lingkungan dan potensi penggunaannya. Rentang ini mungkin mengindikasikan adanya perubahan dalam komposisi kimia air, yang dapat mempengaruhi organisme hidup di dalamnya.
4. Nilai TDS dalam rentang 5180 hingga 9700 ppm. Rentang nilai TDS ini menunjukkan konsentrasi zat terlarut dalam air yang bervariasi dari sedang hingga tinggi. Rentang nilai TDS ini mengindikasikan adanya sejumlah substansi terlarut seperti mineral, garam, dan senyawa kimia dalam air. Konsentrasi yang lebih tinggi dapat mengakibatkan perubahan dalam sifat fisik dan kimia air, yang mungkin memengaruhi kualitas air.
5. Nilai *turbidity* berada dalam rentang 3.01 hingga 3.05 NTU. Rentang nilai *turbidity* ini mengindikasikan bahwa air dalam pengujian memiliki kekeruhan yang rendah dan relatif stabil. Kekeruhan yang rendah dalam kisaran ini menunjukkan bahwa air memiliki sedikit partikel tersuspensi atau endapan padat, sehingga memiliki tingkat transparansi yang baik.
6. Hasil uji akurasi pengiriman data dari perangkat ke cloud menunjukkan tingkat akurasi 100%, menunjukkan bahwa tidak ada data yang hilang selama proses pengiriman data dari perangkat ke awan (*cloud*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. Lapotulo, Perancangan dan Implementasi Alat Deteksi Kualitas Air Layak Mandi Berbasis *Internet of Things* (IoT), Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Komputer, 2022.
- [2] Trisiani Dewi Hendrawati, Nirfan Maulana, Adnan Rafi Al Tahtawi "Sistem Pemantauan Kualitas Air Sungai di Kawasan Industri Berbasis WSN dan IoT," Program Studi Teknik Komputr, Politeknik Sukabumi, JTERA (*Jurnal Teknologi Rekayasa*), Vol. 4, No. 2, Desember 2019, Hal. 283-292.
- [3] P.Paryanto, Resqilla Subarkah, Rusnaldy, "Perancangan *Prototype* dan Evaluasi Alat Pemantauan Air Limbah Industri Berbasis IoT," Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Vol. 24 No. 1 (Januari 2022) Hal. 50-57.

- [4] S. Khodijah, Perancangan dan Implementasi Alat Ukur Untuk Penentuan Kualitas Air Berbasis Logika Fuzzy Metode Sugeno, p. 2207 ed., vol. vol. 4, U. S. R Rumani M, Ed., Bandung: Universitas Telkom, p. no. 2.
- [5] D. Nurhilman, ESP32, vol. no. 1, *Universitas Raharja*, 2021, p. p. 1.
- [6] "Firebase helps mobile and web app teams succeed," Google, [Online]. Available: <https://firebase.google.com/products>.
- [7] A. Z. A. Lestari, Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet, vol. vol. 1, *Informatic and Information Technology*, 2022, p. p. 19.
- [8] F. W. Slamet Purwo Santoso, "Rancang Bangun Akses Pintu Dengan Sensor Suhu dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino," *Jurnal Elektro*, vol. 10, p. 21, 2022.
- [9] T. M. K. Z. I. Ketty Siti Salamah, "Pengenalan MIT Inventor Untuk Siswa/I Di Wilayah Kembangan Utara," *Jurnal Abdi Masyarakat (JAM)*, vol. 5, p. 5, Maret 2020.
- [10] Yuri Rahmanto, Arinda Rifaini, Slamet Samsugi, Sampurna Dadi Riskiano, "Sistem Monitoring pH air pada Aquaponik menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, Vol. 1 No. 1, 2020
- [11] Abi Z, Krisna Jauhar, "Monitoring Kualitas air dan pakan ikan otomatis pada akuarium menggunakan Fuzzy logic berbasis IoT," *Other thesis*, UPN Veteran Jawa Timur, 2020.
- [12] M. Fadhli Roby, Aryuanto Soetedjo, Irmalia Suryani Faradisa, "Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air pada IPAL Tirtarona Tlogomas Kota Malang menggunakan IoT Berbasis LoRa," *Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang*, Vol. 6 No. 1 (2022): Prosiding SENIATI (BOOK-1), 2022.
- [13] Cindy Tio Helena Manurung, Jaenal Arifin, Fikra Titan Syifa, Raditya Artha Rochmanto, "Pemanfaatan ESP32 sebagai Sistem Pemantauan Kualitas Air Keran 18 siap minum secara Real-Time menggunakan Aplikasi," Vol 4 No 2: *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, 2022.