

Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi
<https://ojs.stmik-banjarbaru.ac.id/index.php/jutisi/index>
 Jl. Ahmad Yani, K.M. 33,5 - Kampus STMIK Banjarbaru
 Loktabat – Banjarbaru (Tlp. 0511 4782881), e-mail: puslit.stmikbjb@gmail.com
 e-ISSN: 2685-0893

Perancangan Dan Implementasi Sistem IoT Untuk Monitoring Kualitas Air Menggunakan ESP8266 Dan Sensor TDS Meter

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v15i2.3510>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Piki Darinding^{1*}, Gogor Chrissmass Setyawan², Kristian Juri Dama Lase³

Teknik Informatika, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*. piki.darinding@mail.ukrim.ac.id

Abstract

Continuous monitoring of water quality plays an important role in supporting effective water resource management. This research develops a water quality monitoring system based on the Internet of Things (IoT) using an ESP8266 microcontroller integrated with a Total Dissolved Solids (TDS) sensor. The study includes hardware design, software development, system integration, and sensor accuracy evaluation by comparing the measurement results with a standard TDS meter. Testing was conducted on three water samples: bottled water, reverse osmosis (RO) gallon water, and tap water. The experimental results show measurement errors of 3.45%, 6.12%, and 6.67%, respectively. The average error obtained is 5.41%, indicating an overall system accuracy of 94.59%. In addition, the system is capable of measuring TDS values in real-time and transmitting the data to the server in a stable manner. These results indicate that the developed system is feasible for IoT-based water quality monitoring applications.

Keywords: *Internet of Things; Water Quality; ESP8266; TDS Sensor; Real-time Monitoring*

Abstrak

Pemantauan kualitas air secara berkelanjutan memiliki peran penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya air yang efektif. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan memanfaatkan mikrokontroler *ESP8266* yang terintegrasi dengan sensor *Total Dissolved Solids (TDS)*. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi sistem, serta evaluasi akurasi sensor melalui perbandingan hasil pengukuran dengan alat ukur *TDS meter*. Pengujian dilakukan pada tiga sampel air, yaitu air kemasan, air galon *reverse osmosis (RO)*, dan air keran. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kesalahan sebesar 3,45%, 6,12%, dan 6,67%. Rata-rata kesalahan sistem sebesar 5,41% dengan tingkat akurasi mencapai 94,59%. Sistem juga mampu melakukan pengukuran nilai TDS secara *real-time* dan mengirimkan data ke server secara stabil. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak digunakan untuk monitoring kualitas air berbasis *IoT*.

Kata kunci: *Internet of Things; Kualitas Air; ESP8266; Sensor TDS; Monitoring Real-time*

1. Pendahuluan

Sumber daya alam yang sangat penting adalah air. bagi kehidupan manusia karena berperan dalam kebutuhan biologis maupun aktivitas sosial dan ekonomi. Sekitar 70% komposisi tubuh manusia terdiri dari air sehingga kualitasnya berpengaruh langsung terhadap kesehatan dan proses metabolisme. Selain itu, air juga menjadi komponen penting dalam sektor pertanian, industri, serta kebutuhan rumah tangga. Namun, peningkatan aktivitas domestik, pertanian, dan industri yang tidak disertai pengelolaan lingkungan yang memadai telah menyebabkan pencemaran air di berbagai wilayah. Kondisi ini berpotensi menurunkan kualitas lingkungan serta meningkatkan risiko gangguan kesehatan, seperti diare, penyakit ginjal, hingga paparan logam berat yang berbahaya bagi tubuh manusia [1].

Kualitas air umumnya dinilai melalui parameter fisika dan kimia, salah satunya *Total Dissolved Solids (TDS)* dan *Electrical Conductivity (EC)*. Parameter *TDS* menunjukkan jumlah total zat padat terlarut dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik, yang dapat memengaruhi rasa, kejernihan, serta kelayakan air untuk dikonsumsi. Sementara itu, *Electrical Conductivity (EC)* menggambarkan kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik yang dipengaruhi oleh konsentrasi ion terlarut seperti natrium, kalsium, klorida, dan magnesium. Nilai *EC* memiliki hubungan linier dengan *TDS*, sehingga sering digunakan sebagai indikator tidak langsung untuk memperkirakan kandungan zat terlarut dalam air. Semakin tinggi nilai *EC*, semakin besar pula konsentrasi ion yang menandakan penurunan kualitas air [2].

Menurut rekomendasi *World Health Organization (WHO)*, batas maksimum nilai *TDS* pada air minum adalah 500 mg/L. Nilai yang melebihi batas tersebut dapat memengaruhi kualitas rasa air dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan apabila dikonsumsi secara terus-menerus [3]. Oleh karena itu, pemantauan parameter *TDS* dan *EC* secara berkala diperlukan untuk menjaga kualitas air.

Dalam praktiknya, pengukuran kualitas air di lapangan masih sering dilakukan secara manual menggunakan *TDS meter portable*. Metode ini cukup sederhana, tetapi kurang efisien ketika diterapkan pada banyak titik pengukuran. Proses pengambilan data membutuhkan waktu dan tenaga yang besar serta tidak mampu menyediakan informasi secara *real-time*. Selain itu, pencatatan data secara manual berpotensi menimbulkan kesalahan manusia (*human error*) dan menyulitkan analisis data jangka panjang. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem pemantauan kualitas air yang bersifat otomatis dan dapat diakses dari jarak jauh.

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat dan sensor terhubung ke jaringan internet untuk melakukan pengukuran serta pengiriman data secara otomatis dan berkelanjutan. Salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem *IoT* adalah *NodeMCU ESP8266*, karena telah dilengkapi modul *Wi-Fi*, memiliki konsumsi daya rendah, biaya relatif ekonomis, serta kompatibel dengan berbagai jenis sensor [4], [13]. Dengan teknologi ini, sistem monitoring kualitas air dapat menyajikan data secara *real-time* sehingga proses pemantauan menjadi lebih efisien dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis *IoT*. Prasetyo *et al.* [9] merancang sistem pemantauan kualitas air sumur menggunakan *ESP8266* dengan sensor pH, *TDS*, dan suhu yang dipadukan dengan metode *Fuzzy Logic*. Sistem tersebut mampu mengirimkan notifikasi melalui *Telegram* ketika kualitas air berada pada kondisi tidak layak. Penelitian lain oleh Prabowo *et al.* [14] memanfaatkan *ESP8266* untuk memantau lingkungan hidroponik dengan sensor suhu, pH, dan ketinggian air, dengan tampilan data melalui server web. Selain itu, Rizky Maulana dan Kusnadi [15] mengembangkan sistem monitoring serta pengendalian kualitas air pada budidaya ikan berbasis *NodeMCU* dan *Telegram* dengan fitur kontrol otomatis.

Meskipun berbagai penelitian tersebut menunjukkan keberhasilan penerapan sistem berbasis *IoT*, sebagian besar masih berfokus pada visualisasi data atau fungsi kontrol otomatis. Evaluasi akurasi sensor melalui perbandingan dengan alat ukur standar juga masih terbatas. Selain itu, pemanfaatan *Telegram* sebagai media monitoring *real-time* belum banyak dikaji, padahal platform ini menyediakan *Application Programming Interface (API)* yang ringan dan mendukung pengiriman data secara cepat serta stabil.

Berdasarkan hal tersebut, masih terdapat *research gap* pada pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis *IoT* yang tidak hanya menampilkan data secara *real-time*, tetapi juga dilengkapi dengan evaluasi akurasi sensor secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan *ESP8266* dan sensor *TDS* yang dapat menampilkan data kualitas air secara *real-time* melalui aplikasi *Telegram*. Sistem yang dikembangkan juga diuji tingkat akurasinya dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap alat ukur standar serta menganalisis kestabilan pengiriman data.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi sistem monitoring kualitas air berbasis *IoT* dengan *Telegram* sebagai antarmuka utama *real-time* yang disertai evaluasi akurasi sensor *TDS* secara kuantitatif melalui analisis persentase kesalahan dan tingkat akurasi alat. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan sistem monitoring kualitas air yang praktis, ekonomis, serta dapat menjadi referensi bagi pengembangan penelitian serupa di masa mendatang.

2. Metodologi

2.1 Tahapan Penelitian

Proses penelitian dilaksanakan secara terstruktur dengan menggunakan pendekatan rekayasa sistem. Tahapan penelitian terdiri dari empat tahap utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian sistem. Urutan tahapan tersebut dirancang agar proses pengembangan sistem berlangsung secara sistematis, terarah, dan memungkinkan evaluasi pada setiap tahap pengembangan.

2.2 Analisa Kebutuhan Fungsional

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan fungsi utama sistem yang akan dikembangkan. Proses ini meliputi kajian literatur mengenai parameter kualitas air, prinsip kerja sensor *Total Dissolved Solids (TDS)*, serta penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam sistem monitoring. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan fungsional sistem serta spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan.

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional

No	Fitur Fungsional	Deskripsi Singkat
1	Pengukuran TDS <i>Real-Time</i>	Mengukur nilai <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i> air secara otomatis.
2	<i>Monitoring</i> dan Visualisasi	Menampilkan data kualitas air pada OLED dan Telegram.
3	Pengiriman data IoT	Mengirimkan data ke server Telegram melalui jaringan internet.
4	Pembaruan data berkala	Melakukan pembaruan data secara kontinu.

2.3 Desain Sistem

Desain sistem dilakukan setelah kebutuhan sistem ditentukan. Tahap ini meliputi perancangan arsitektur sistem, rangkaian perangkat keras, alokasi pin, serta alur kerja perangkat lunak. Selain itu, dirancang juga mekanisme komunikasi data antara *NodeMCU ESP8266* dan platform *Telegram* untuk monitoring jarak jauh. Hasil tahap ini berupa rancangan sistem yang siap diimplementasikan.

2.3.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 adalah papan mikrokontroler yang telah dilengkapi modul *Wi-Fi* sehingga dapat digunakan untuk pengembangan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Perangkat ini menyediakan beberapa pin *input/output (I/O)* yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor atau perangkat lain. Selain itu, *NodeMCU ESP8266* dapat diprogram menggunakan *Arduino IDE* dengan bahasa C/C++ melalui koneksi *USB*, sehingga proses pemrograman dan pengujian sistem dapat dilakukan dengan lebih mudah.

2.3.2 Sensor TDS Meter

Sensor *TDS* digunakan untuk mendeteksi jumlah padatan terlarut dalam air melalui pengukuran konduktivitas listrik larutan. Nilai konduktivitas tersebut kemudian dikonversi ke satuan *part per million (ppm)* berdasarkan persamaan kalibrasi pada *datasheet* sensor [8], [10].

Tabel 2. Spesifikasi Sensor TDS

Parameter	Spesifikasi
Rentang Pengukuran	0 – 1000 ppm
Tegangan Kerja	3.3 – 5 V
Output	Analog
Akurasi Pabrikasi	±1 ppm
Suhu Operasi	0 – 80 °C

2.3.3 Electrical Conductivity (EC)

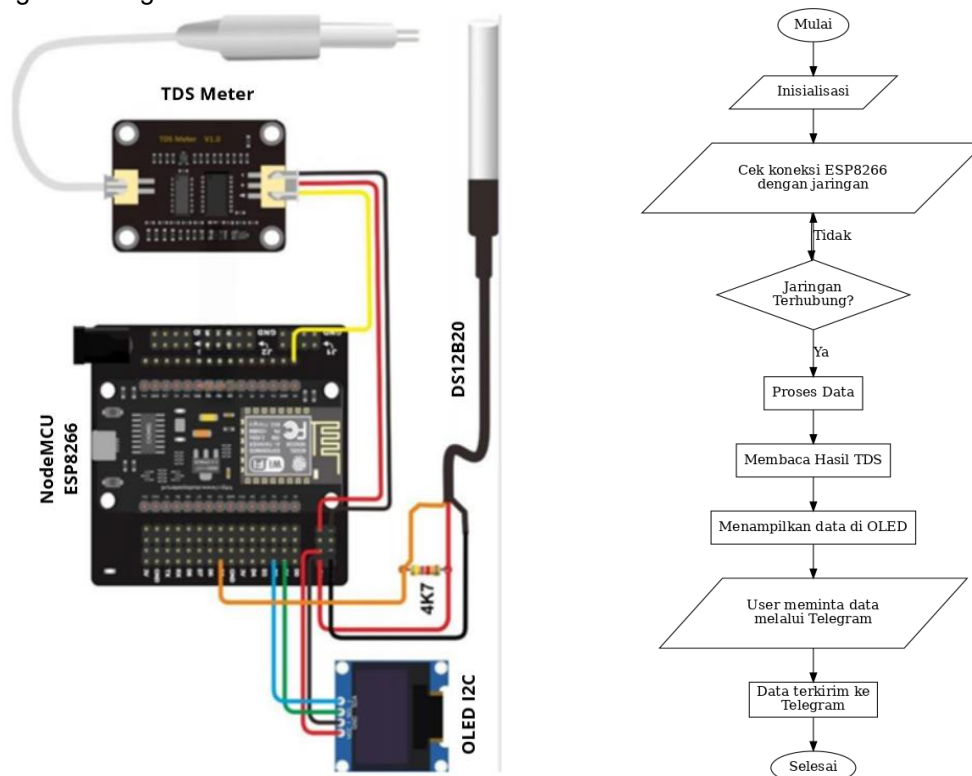
Electrical Conductivity (EC) merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik akibat adanya ion terlarut. Nilai *EC* berkorelasi dengan *Total Dissolved Solids (TDS)*, sehingga peningkatan konduktivitas umumnya menunjukkan bertambahnya kandungan zat terlarut dalam air. Pada sistem ini, nilai *EC* diperoleh secara tidak langsung melalui sensor *TDS*, di mana konduktivitas larutan digunakan sebagai dasar perhitungan nilai *TDS*. Parameter ini berfungsi sebagai indikator awal dalam menilai perubahan kualitas air.

2.3.4 OLED I2C

Modul *OLED I2C* 0.96 inci merupakan display grafis beresolusi 128×64 piksel yang menggunakan teknologi *OLED*. Modul ini berkomunikasi menggunakan protokol *I2C* dengan dua pin utama, yaitu *SDA* dan *SCL*, sehingga dapat menghemat penggunaan pin pada *NodeMCU*. *OLED* digunakan sebagai tampilan lokal untuk menampilkan nilai *TDS* hasil pengukuran secara langsung.

2.3.5 Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan berbasis *C/C++* untuk mengatur pembacaan sensor, pemrosesan data, serta pengiriman informasi ke media monitoring. Program yang dibuat menentukan jalannya sistem agar dapat bekerja sesuai fungsi yang dirancang.



Gambar 1. Desain Sistem dan Flowchart Alur Kerja Sistem

2.3.6 Arsitektur Komunikasi Sistem IoT Berbasis Telegram

1) Deskripsi Arsitektur Sistem

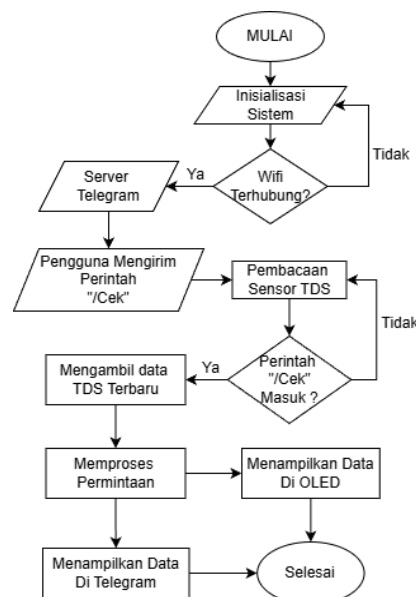
Arsitektur sistem monitoring kualitas air dirancang dengan konsep *Internet of Things (IoT)* yang memanfaatkan *Telegram* sebagai antarmuka pengguna. Sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor *TDS*, *NodeMCU ESP8266*, server *Telegram*, dan perangkat pengguna. Sensor *TDS* membaca nilai *Total Dissolved Solids (TDS)* dalam satuan ppm, kemudian data analog diproses oleh *NodeMCU ESP8266* melalui pin *ADC* dan dikonversi menjadi data digital.

Selanjutnya, *NodeMCU ESP8266* mengirimkan data ke server *Telegram* melalui *Telegram Bot API* menggunakan koneksi *Wi-Fi*. Sistem menggunakan mekanisme komunikasi *request-response*, sehingga data hanya dikirim ketika pengguna memberikan perintah melalui aplikasi *Telegram*. Pendekatan ini membantu meningkatkan efisiensi penggunaan jaringan dan konsumsi daya perangkat.

2) Telegram Bot

Telegram Bot digunakan sebagai antarmuka *monitoring* jarak jauh pada sistem ini. Bot dikonfigurasi melalui *@BotFather* dan diintegrasikan dengan *NodeMCU ESP8266* menggunakan *Telegram API*. Sistem memungkinkan pengguna menerima data TDS secara *real-time* melalui perintah tertentu, seperti */cek* [11]. *Telegram* dipilih karena menyediakan API yang terbuka, ringan, dan mendukung pengiriman data secara cepat serta efisien [12].

3) Alur Komunikasi Siste



Gambar 2. Flowchart Alur Komunikasi ESP8266 dengan Telegram

Diagram alur komunikasi sistem menunjukkan bahwa pertukaran data antara pengguna dan perangkat IoT menggunakan mekanisme *request-response*. *NodeMCU ESP8266* membaca data sensor secara berkelanjutan dan menampilkannya pada OLED, sedangkan pengiriman data ke pengguna dilakukan ketika perintah *“/cek”* diterima melalui *Telegram*. Metode ini membantu mengurangi lalu lintas jaringan serta meningkatkan efisiensi penggunaan daya perangkat.

2.4 Implementasi sistem

Tahap implementasi merupakan proses merealisasikan desain menjadi sistem yang dapat digunakan. Kegiatan pada tahap ini meliputi perakitan perangkat keras, pemrograman *NodeMCU* menggunakan bahasa C pada *Arduino IDE*, integrasi sensor *TDS* dengan *OLED*, serta konfigurasi *Telegram Bot*. Proses implementasi difokuskan pada kesesuaian antara pembacaan sensor, pengolahan data, dan pengiriman informasi secara *real-time*.

2.5 Pengujian Sistem

Pengujian sistem bertujuan mengevaluasi kinerja dan keandalan, meliputi kalibrasi sensor, perbandingan dengan alat referensi, serta uji respons *Telegram*. Penyesuaian dilakukan bila diperlukan hingga sistem siap digunakan untuk monitoring kualitas air berbasis *IoT*.

1) Pengujian Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor *TDS* dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap *TDS meter* standar menggunakan beberapa sampel air. Hasil kalibrasi digunakan untuk menyesuaikan konstanta konversi agar nilai pengukuran mendekati data referensi.

2) Pengujian Akurasi Kenerja Sensor TDS

Setelah pengembangan, akurasi sistem dihitung menggunakan rumus persentase kesalahan sebagai berikut:

$$Error(\%) = \frac{n-m}{m} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

n = Nilai Sensor

m = Nilai Referensi

Hasil pengujian kemudian dianalisis secara statistik untuk menghitung rata-rata kesalahan serta menilai tingkat akurasi sistem.

3) Pengujian Respons Telegram

Waktu respons diukur dari saat mengirim perintah “/cek” melalui Telegram hingga data diterima. Pengujian dilakukan pada kondisi jaringan *Wi-Fi* untuk memastikan konsistensi sistem.

$$T_r = T_{\{terima\}} - T_{\{kirim\}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

Tr = Waktu *respons* system (detik)

T terima = Waktu data diterima (detik)

T kirim = Waktu perintah /cek dikirim (detik)

Untuk memperoleh nilai waktu respons rata – rata, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{r2} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{terima_i} - T_{kirim_i})}{n} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Tr² = Rata – rata waktu *respons* (detik)

Tr_i = Waktu respons pada pengujian ke-i (detik)

n = Jumlah total pengujian

Pengujian dilakukan sebanyak beberapa kali pada kondisi jaringan *Wi-Fi* yang stabil untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas hasil.

4) Alokasi Pin

Alokasi pin untuk sistem *monitoring* kualitas air agar sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan, berikut alokasi pin untuk sistem kualitas air.

Tabel 3. Alokasi Pin

NodeMCU ESP8266	OLED I2C	TDS Meter
VCC/3v	VCC	+
GND	GND	-
D1	SCL	
D2	SDA	
A0		A

Keterangan:

NodeMCU – OLED

VCC pada NodeMCU dihubungkan ke VCC/V3 pada OLED

GND pada NodeMCU dihubungkan pada GND yang ada pada modul OLED

D1 pada NodeMCU dihubungkan ke SCL yang ada pada OLED

D2 pada NodeMCU dihubungkan ke SDA pada OLED

NodeMCU – TDS

VCC/V3 pada NodeMCU dihubungkan ke simbol (+) yang ada di TDS meter

GND pada NodeMCU dihubungkan pada simbol (-) yang ada pada TDS

A0 pada NodeMCU dihubungkan ke A yang ada pada TDS

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan dan Implementasi Perangkat Keras

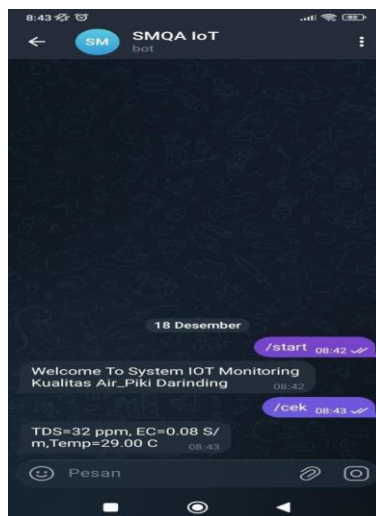


Gambar 3. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dikembangkan sesuai rancangan yang telah divalidasi. Konfigurasi sistem monitoring IoT terdiri dari *NodeMCU ESP8266*, sensor *TDS*, dan modul *OLED I2C*. *NodeMCU ESP8266* berperan sebagai pusat pengolahan data sekaligus modul komunikasi ke platform *Telegram* melalui *Wi-Fi*. Sensor *TDS* mengukur kadar padatan terlarut air dalam ppm, sedangkan *OLED I2C* menampilkan hasil pengukuran secara *real-time*.

Integrasi ketiga komponen memungkinkan akuisisi data, pemrosesan, dan penyajian informasi kualitas air secara kontinu. Rangkaian dirancang modular untuk memudahkan pengembangan dan meminimalkan kesalahan pembacaan sensor.

3.2 Hasil Perancangan dan Implementasi perangkat lunak



Gambar 4. Tampilan Data Pada Telegram

Perangkat lunak dirancang untuk mengelola alur data sensor, memproses nilai *TDS*, dan mengatur komunikasi melalui *Telegram*. *NodeMCU ESP8266* diprogram menggunakan *Arduino IDE* dengan bahasa C untuk menginisialisasi sensor *TDS*, *OLED I2C*, dan koneksi *Wi-Fi*. Data sensor dibaca secara periodik dan ditampilkan di *OLED*, sedangkan pengiriman ke *Telegram* hanya dilakukan saat menerima perintah “/cek” dari pengguna, sehingga meminimalkan beban jaringan dan meningkatkan efisiensi transmisi.

3.3 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan semua fitur yang ditetapkan pada tahap analisis kebutuhan (Tabel 1) berjalan sesuai spesifikasi. Uji dilakukan dengan eksperimen langsung, memvariasikan kondisi input dan mengamati respons sistem sebagai output.

Variabel input meliputi jenis sampel air, status koneksi *Wi-Fi*, dan perintah dari pengguna melalui *Telegram*. Output yang diamati mencakup keberhasilan pembacaan sensor, tampilan data di *OLED*, pengiriman data ke *Telegram*, dan pembaruan informasi secara berkala.

3.3.1 Skenario Pengujian

Tabel 4. Skenario Pengujian Fungsionalitas Sistem

No	Variabel Input	Kondisi Pengujian	Variabel Output Yang Diamati	Hasil Pengamatan
1	Sampel air normal	Sensor dicelupkan ke air minum	Nilai TDS tampil di <i>OLED</i>	Berhasil
2	Sampel air berbeda	Sensor dicelupkan ke air keran	Nilai TDS berubah sesuai kondisi air	Berhasil
3	Perintah Telegram /cek	Pengguna mengirim perintah	Data TDS terkirim ke Telegram	Berhasil
4	<i>Wi-Fi</i> aktif	Sistem terhubung internet	Data terkirim <i>real-time</i>	Berhasil
5	<i>Wi-Fi</i> dimatikan	Koneksi putus	Data tidak terkirim	Berhasil
6	<i>Monitoring</i> kontinu	Sistem berjalan 10 menit	Data diperbarui berkala	Stabil

3.3.2 Hasil Pengujian Fitur

Berdasarkan hasil eksperimen pada Tabel 4, seluruh fitur fungsional sistem dapat berjalan sesuai rancangan. Sensor TDS mampu membaca perubahan kualitas air secara *real-time* dan menampilkan data secara konsisten pada *OLED*. Komunikasi Telegram bekerja sesuai skenario *request-respons*, dimana data hanya dikirim saat menerima perintah pengguna.

3.3 Hasil Uji Akurasi Sensor TDS Meter

Akurasi sensor TDS diuji dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap *TDS meter* standar pada tiga jenis air: air kemasan, air galon RO, dan air keran. Setiap sampel diukur lima kali dengan waktu stabilisasi ± 5 detik, menggunakan formula 4:.

$$Error(\%) = \frac{n-m}{m} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

n = Nilai Pembacaan Sensor

m = Nilai Referensi (TDS meter)

Rata – rata Persentase Kesalahan:

$$\bar{E} = \frac{(\sum_{i=1}^n E_i)}{n} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

E = Rata – rata persentase kesalahan

E_n = Persentase kesalahan tiap sampel

n = Jumlah sampel pengujian

Akurasi Kinerja Alat:

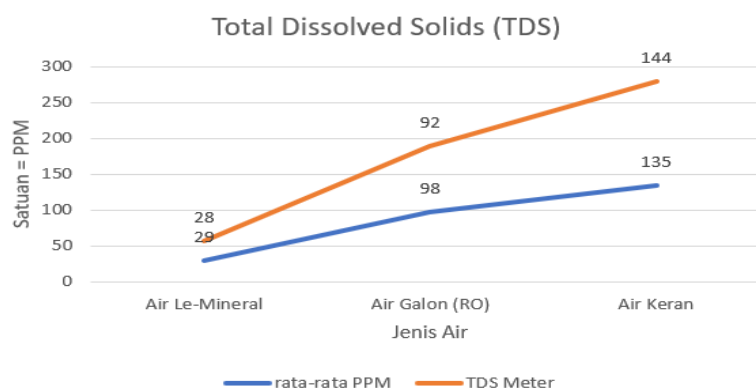
$$Akurasi(\%) = 100\% - \bar{E} \dots\dots\dots (6)$$

Tabel 5. Hasil Perbandingan Parameter TDS

No	Jenis Air	Rata-rata Sensor (PPM)	TDS Meter (PPM)	Persentase Kesalahan (%)
1	Air Le-Mineral	29	28	3,45
2	Air Galon (RO)	98	92	6,12
3	Air Keran	135	144	6,67
Rata-rata Persentase Kesalahan Alat				5,41%
Akurasi Alat				94,59%

Hasil pengujian akurasi sensor *TDS* pada Tabel 5 diperoleh dari pengukuran tiga jenis sampel air. Data menunjukkan adanya selisih antara nilai yang dibaca sensor pada sistem *IoT* dan hasil pengukuran menggunakan *TDS meter* konvensional sebagai alat referensi. Secara keseluruhan diperoleh rata-rata kesalahan sebesar 5,41%, yang menandakan perbedaan pengukuran masih relatif kecil dan berada dalam batas toleransi untuk aplikasi pemantauan kualitas air. Berdasarkan nilai tersebut, tingkat akurasi sistem mencapai 94,59%, sehingga sensor *TDS* yang digunakan dinilai memiliki kinerja pengukuran yang baik dan cukup konsisten pada berbagai kondisi air.

Perhitungan kesalahan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai yang dihasilkan alat referensi yang telah dikalibrasi pabrikan. Selisih kedua nilai tersebut kemudian dihitung dan dinormalisasi terhadap nilai referensi untuk memperoleh persentase deviasi. Semakin kecil nilai kesalahan yang dihasilkan, semakin mendekati pula hasil pengukuran sistem terhadap nilai acuan. Pendekatan ini umum digunakan dalam pengujian instrumentasi untuk menilai performa dan tingkat keakuratan sensor.

**Gambar 5.** Grafik Uji Akurasi Sensor TDS

Sensor *TDS* yang dirancang menunjukkan tingkat akurasi sangat tinggi, dengan persentase kesalahan 5,41%. Rentang kesalahan ini tergolong minimal, mencerminkan stabilitas dan konsistensi performa sensor. Hal ini diperkuat oleh nilai *koefisien determinasi* (R^2) sebesar 0,9999, yang menunjukkan korelasi linier hampir sempurna antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi.

3.5 Hasil Uji Respons Sistem Berbasis Telegram

Pengujian respons sistem dilakukan untuk menilai kecepatan komunikasi antara pengguna dan sistem monitoring air melalui *Telegram*. Parameter yang diukur adalah waktu dari pengiriman perintah “/cek” hingga penerimaan data *TDS* oleh pengguna. Pengujian dilakukan 10 kali pada jaringan *Wi-Fi* stabil, dengan selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan dicatat untuk analisis.

Rumus Waktu Respons:

$$T_r = T_{\{terima\}} - T_{\{kirim\}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

T_r = Waktu *Respons* (detik)

T_{terima} = waktu data diterima

$T_{\text{ kirim}}$ = Waktu perintah “/cek” dikirim

Sedangkan rata-rata waktu respons dihitung menggunakan persamaan 8.

$$T_{r2} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{\text{terima}_i} - T_{\text{ kirim}_i})}{n} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

Tr^2 = Rata – rata waktu *respons* (detik)

Tr_i = Waktu respons pada pengujian ke-i (detik)

n = Jumlah total pengujian

Tabel 6. Hasil Uji respons Telegram

NO	Waktu Kirim (HH.MM)	Waktu Terima (HH.MM)	Waktu <i>Respons</i> (detik)
1	08.01	08.03	2
2	08.06	08.09	3
3	08.11	08.14	3
4	08.20	08.22	2
5	08.25	08.27	2
6	08.30	08.32	2
7	08.34	08.36	2
8	08.40	08.43	3
9	08.45	08.47	2
10	08.51	08.54	3
Rata – rata Waktu <i>Respons</i> Telegram			2,4 detik

3.6 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi secara teknis sekaligus relevan dengan permasalahan utama yang diidentifikasi sebelumnya, yaitu keterbatasan metode pemantauan air yang masih manual, tidak real-time, dan rentan terhadap kesalahan pencatatan. Pengukuran TDS secara otomatis memungkinkan data kualitas air tersedia secara kontinu tanpa intervensi manual, sehingga mendukung pemantauan berkala yang sulit dilakukan dengan alat portable konvensional. Fitur ini juga mengurangi ketergantungan pada pengukuran manual, meningkatkan efisiensi operasional, dan memungkinkan pemantauan yang lebih cepat dan responsif.

Visualisasi data melalui *OLED* dan *Telegram* meningkatkan akses informasi. Tampilan lokal memudahkan verifikasi di lapangan, sementara integrasi *Telegram* memungkinkan monitoring jarak jauh. Fitur ini mengurangi keterlambatan pengambilan keputusan yang biasanya terjadi pada metode manual, sehingga sistem berperan tidak hanya sebagai alat ukur tetapi juga sebagai platform komunikasi data untuk manajemen kualitas air.

Mekanisme pengiriman data berbasis *request-response* terbukti efisien, mengirimkan data hanya saat diperlukan sehingga menghemat bandwidth dan daya. Waktu respons rata-rata 2,4 detik cukup cepat untuk aplikasi non-kritis, menunjukkan stabilitas komunikasi yang memadai untuk pemantauan jarak jauh tanpa infrastruktur server yang kompleks.

Dari sisi performa sensor, rata-rata kesalahan 5,41% menunjukkan akurasi yang cukup untuk aplikasi monitoring praktis. Meskipun tidak setara alat laboratorium presisi tinggi, sensor mampu mendeteksi perubahan kualitas air secara operasional. Dengan demikian, sistem memenuhi kebutuhan fungsional sebagai alat pemantauan preventif.

Dibandingkan penelitian sebelumnya, temuan ini mendukung konsistensi platform *ESP8266* sebagai solusi stabil untuk sistem IoT (Prabowo et al. [14]; Rizky Maulana & Kusnadi [15]) dan menambahkan dimensi evaluasi kuantitatif akurasi sensor yang lebih eksplisit. Hasil deviasi sensor yang relatif kecil sejalan dengan laporan Prasetyo et al. [9], menunjukkan sensor TDS berbasis IoT dapat diterapkan secara praktis meski ada perbedaan dengan alat standar.

Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi tiga aspek sekaligus: pengukuran sensor, komunikasi IoT, dan validasi akurasi kuantitatif. Dengan pendekatan ini, sistem monitoring kualitas air berbasis IoT tidak hanya bersifat implementatif tetapi juga terukur secara ilmiah, memberikan bukti empiris mengenai kelayakan sensor TDS di lapangan.

Secara lebih luas, hasil penelitian menunjukkan potensi sistem monitoring berbasis IoT sebagai infrastruktur pemantauan lingkungan yang adaptif. Integrasi dengan platform terbuka seperti *Telegram* memungkinkan pengembangan skala komunitas atau institusi tanpa investasi server besar, menjadikan teknologi ini relevan tidak hanya untuk industri tetapi juga solusi praktis bagi masyarakat. Penelitian ini menegaskan pentingnya monitoring real-time sebagai bagian dari pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

4. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang terhubung dengan *Telegram* mampu menyediakan pemantauan yang akurat, efisien, dan *real-time*. Hal ini didukung oleh hasil pengujian sensor *TDS* yang menunjukkan tingkat akurasi mencapai 94,59%. Pendekatan modular dan penggunaan jaringan terbuka memungkinkan sistem beradaptasi dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan pengguna. *NodeMCU ESP8266* mendukung berbagai jenis sensor dan protokol komunikasi, sementara *Telegram API* menyediakan platform komunikasi data yang fleksibel dan mudah diintegrasikan. Kontribusi utama penelitian terletak pada integrasi sensor, mikrokontroler, dan komunikasi digital yang aplikatif untuk masyarakat maupun institusi. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penambahan sensor *pH*, *turbidity*, dan fitur notifikasi berbasis ambang batas.

Daftar Referensi

- [1] E. Febriarta and M. Widyastuti, "Kajian kualitas air tanah dampak intrusi di sebagian pesisir Kabupaten Tuban," *Jurnal Geografi*, vol. 17, no. 2, pp. 39–48, 2020.
- [2] P. Wms, M. Putriyani, N. P. Ayu, K. I. N. Men, L. Safriani, N. Syakir, and A. Aprilia, "Analisis TDS, pH, dan COD untuk mengetahui kualitas air warga Desa Ciliyung," *Jurnal Fisika Unpad*, vol. 12, no. 2, pp. 43–49, 2023.
- [3] S. Anzjarwati, L. S. Basilia, R. A. Aradiyah, and R. Purnaini, "Penyisihan kadar TDS, pH, dan total coliform dalam pengolahan air hujan menjadi air siap minum," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 9, no. 3, pp. 429–438, 2023.
- [4] I. W. Suriana, I. G. A. Setiawan, and I. M. S. Graha, "Rancang bangun sistem pengaman kotak dana punia berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan aplikasi Telegram," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 4, no. 2, pp. 11–20, 2021.
- [5] H. Jatnika, M. F. Rifar, Y. S. Purwanto, and S. Karmila, "Monitoring kualitas air berbasis smart system untuk ketersediaan air," *Jurnal Nasional Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 14, no. 2, pp. 181–192, 2021.
- [6] Danih and S., "Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian kualitas air dan pakan ikan pada budidaya sistem akuaponik," *Jurnal Software Engineering, Computer Science and Information Technology (JSCSIT)*, vol. 2, no. 1, pp. 89–98, 2021.
- [7] C. Tio, H. Manurung, J. Arifin, F. T. Syifa, and R. A. Rochmanto, "Pemanfaatan ESP32 sebagai sistem pemantauan kualitas air keran siap minum secara real-time menggunakan aplikasi," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTECE)*, vol. 4, no. 2, pp. 93–98, 2022.
- [8] F. Chuzaini and Dzulkifli, "IoT monitoring kualitas air dengan menggunakan sensor suhu, pH, dan total dissolved solids (TDS)," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 11, no. 3, pp. 46–56, 2022.
- [9] B. D. Prasetyo, E. Widodo, and D. Ardiatma, "Sistem monitoring kualitas air sumur berbasis

- IoT,” *Informatics and Software Engineering Technology (Insect)*, vol. 11, no. 1, pp. 5–8, 2025..
- [10] M. M. Syahfitri, E. Kuswara, M. I. Nugraha, and Z. Saputra, “Rangkaian pengkondisi sinyal dan regresi linier sebagai metode peningkatan akurasi pembacaan sensor TDS pada sistem hidroponik,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 25–34, 2023..
- [11] B.Fadillah, “Perancangan pemantauan banjir real-time berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 terintegrasi ThingSpeak,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 3035–3041, 2025.
- [12] Y. Athallah and R. Agung, “Rancang bangun prototipe monitoring lampu jalan secara otomatis menggunakan mikrokontroler,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 12–19, 2022.
- [13] R. D. Alfian, “Rancang bangun alat monitoring pemakaian tarif listrik dan kontrol daya listrik pada rumah kos berbasis Internet of Things,” *Jurnal Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 55–65, 2021..
- [14] M. C. A. Prabowo, A. A. Janitra, and N. M. Wibowo, “Sistem monitoring hidroponik berbasis IoT dengan sensor suhu, pH, dan ketinggian air menggunakan ESP8266,” *Jurnal Tecnoscienza*, vol. 7, no. 2, pp. 312–323, 2023.
- [15] R. Maulana and M. A. Kusnadi, “Sistem monitoring dan controlling kualitas air serta pemberian pakan pada budidaya ikan lele menggunakan metode fuzzy, NodeMCU dan Telegram,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 1, pp. 53–64, 2021..