

“Smart Tandon”: Sistem Monitoring Kualitas Air Baku Berbasis IoT Secara Real-Time

Made Dika Nugraha*, Gusti Ngurah Agung Pawana, Gede Yohanes Arygunartha

Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa

Jalan Terompong Denpasar Bali

E-mail: dikanugraha@warmadewa.ac.id

Naskah Masuk: 11 Juni 2026; Diterima: 25 September 2026; Terbit: 30 September 2026

ABSTRAK

Abstrak - Banyak masyarakat di Indonesia masih mengandalkan air sumur sebagai sumber air baku utama, namun pemantauan dan pengolahan kualitas air di lingkungan tersebut sebagian besar masih dilakukan secara manual, tidak akurat, dan tidak konsisten. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi Smart Tandon, sebuah prototipe sistem penyimpanan air komunitas berbasis IoT yang mengintegrasikan pemantauan kualitas air multi parameter secara real-time dan evaluasi kinerja filtrasi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor pH, Total Dissolved Solids (TDS), kekeruhan, dan suhu, serta modul filtrasi berlapis yang terdiri dari pasir, karbon aktif, dan zeolit. Data sensor dikirimkan melalui WiFi ke dasbor pemantauan IoT untuk visualisasi dan pencatatan data secara real-time. Pengujian awal selama 55 menit dengan interval pengambilan sampel 5 menit (12 titik pengamatan) pada satu sumber air sumur. Hasil menunjukkan bahwa air sumur sebelum pengolahan memiliki pH 6,31–6,50, TDS 310–390 ppm, dan kekeruhan 8,2–16,0 NTU. Setelah filtrasi, pH stabil pada 7,07–7,15, TDS berkurang menjadi 112–150 ppm, dan kekeruhan turun menjadi 1,6–3,5 NTU, dengan penurunan rata-rata sekitar 63% untuk TDS dan 80% untuk kekeruhan. Seluruh nilai pasca filtrasi memenuhi ambang batas air minum WHO, namun nilai kekeruhan setelah filtrasi melampaui batas Permenkes Republik Indonesia (RI) No. 2 Tahun 2023 untuk air pipa olahan sebesar 1,5 NTU sehingga belum sepenuhnya sesuai standar tersebut. Karena penelitian ini hanya mencakup empat parameter fisik-kimia dan belum mencakup pengujian mikrobiologi, logam berat, nitrat, maupun kontaminan kimia lain, hasil ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa air hasil filtrasi aman diminum, klaim yang diajukan dibatasi pada perbaikan keempat parameter yang dipantau tersebut.

Kata kunci: Internet of Things, Sistem Monitoring, ESP32, pH, TDS, Turbidity, Filter

ABSTRACT

Abstract - Many communities in Indonesia still rely on well water as their primary raw water source; however, water quality monitoring and treatment in these areas are largely conducted manually, resulting in inaccuracies and inconsistencies. This study aims to design, implement, and evaluate "Smart Tandon," an IoT-based community water storage system that integrates real-time, multi-parameter water quality monitoring with filtration performance assessment. The system utilizes an ESP32 microcontroller connected to sensors for pH, Total Dissolved Solids (TDS), turbidity, and temperature, alongside a multi-layer filtration module comprising sand, activated carbon, and zeolite. Sensor data is transmitted via WiFi to an IoT monitoring dashboard for real-time visualization and logging. Preliminary testing was conducted over 55 minutes with a 5-minute sampling interval (12 observation points) using a single well water source. Results indicate that untreated well water had a pH of 6.31–6.50, TDS of 310–390 ppm, and turbidity of 8.2–16.0 NTU. Following filtration, the pH stabilized at 7.07–7.15, TDS decreased to 112–150 ppm, and turbidity dropped to 1.6–3.5 NTU, representing average reductions of approximately 63% for TDS and 80% for turbidity. While all post-filtration values met WHO drinking water thresholds, the post-filtration turbidity exceeded the Indonesian National Standard Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 limit of 1.5 NTU for treated piped water, meaning it did not fully comply with that specific standard. As this study covered only four physicochemical parameters excluding microbiological testing, heavy metals, nitrates, and other chemical contaminants the results cannot be used to conclude that the filtered water is safe for consumption; claims are limited to the improvements observed in the four monitored parameters.

Keywords: Internet of Things, Monitoring System, ESP32, pH, TDS, Turbidity, Filtration

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Air minum merupakan kebutuhan dasar manusia dan hak dasar yang harus dijamin dalam hal kuantitas, kualitas, dan keberlanjutan bagi seluruh masyarakat [1]. Namun, di banyak masyarakat, sistem penyimpanan air minum masih dikelola secara konvensional dan manual, tanpa pemantauan volume air atau proses pengisian tangki yang akurat [2]. Kondisi ini seringkali menyebabkan pemborosan air, keterlambatan pengisian, dan risiko kekurangan air, yang secara langsung berdampak pada aktivitas masyarakat dan kesehatan [3].

Di banyak masyarakat pedesaan dan perkotaan di seluruh Indonesia, proses pengelolaan air konvensional sepenuhnya bergantung pada metode manual. Operator atau anggota masyarakat secara visual memeriksa ketinggian air tangki seringkali menggunakan pelampung atau penggaris untuk memutuskan kapan harus mengaktifkan pompa air. Penilaian kualitas air, jika dilakukan, dilakukan melalui pemeriksaan visual berkala atau uji laboratorium yang jarang, dengan hasil yang baru tersedia beberapa hari setelah pengambilan sampel. Proses ini pada dasarnya reaktif: kejadian kontaminasi, penyimpangan pH, atau kelebihan padatan terlarut hanya ditemukan setelah penduduk telah mengonsumsi air, atau bahkan tidak ditemukan sama sekali. Sistem manual seperti itu sangat bergantung pada pengawasan manusia, sehingga kurang efisien dan rentan terhadap kesalahan operasional [4]. Kurangnya data historis dan pemantauan waktu nyata juga menyulitkan para pengelola untuk merencanakan distribusi dan pemeliharaan sistem air minum secara optimal. Seiring meningkatnya kebutuhan akan air bersih karena pertumbuhan penduduk dan aktivitas sosial ekonomi, masalah ini menjadi semakin kompleks [5]. Pengembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang menjanjikan untuk pengelolaan infrastruktur air [6]. IoT memungkinkan integrasi sensor, perangkat kontrol, dan jaringan komunikasi untuk memantau dan mengontrol sistem secara waktu nyata dan jarak jauh [7]. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam sistem penyimpanan air dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi kehilangan air, dan meningkatkan keandalan sistem distribusi [8], [9].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan Smart Tandon sebagai sistem manajemen air minum komunitas berbasis IoT yang membedakan dirinya dari penelitian sebelumnya dalam tiga hal utama: sistem ini mengintegrasikan modul filtrasi fisik multi-lapisan langsung di dalam sistem penyimpanan, memungkinkan filtrasi dan pemantauan kualitas secara simultan dalam satu unit [10], sistem ini menggunakan susunan sensor multi-parameter (pH, TDS, kekeruhan, dan suhu) untuk melakukan perbandingan sebelum dan sesudah filtrasi secara terus menerus, daripada memantau satu parameter secara terpisah [11], dan sistem ini dirancang khusus untuk penyebaran skala komunitas di lingkungan dengan sumber daya terbatas, menekankan biaya rendah, kemudahan perawatan, dan pengoperasian otonom tanpa staf teknis khusus.

Sementara penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi aspek-aspek individual seperti kontrol level atau pemantauan kualitas sensor tunggal [12], integrasi terpadu evaluasi kinerja filtrasi dengan pemantauan IoT multi-parameter secara real-time merupakan kebaruan dari penelitian ini [13]. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan sistem manajemen air minum yang lebih cerdas dan adaptif untuk mengatasi tantangan keterbatasan sumber daya air. Implementasi Tangki Pintar berbasis IoT diharapkan dapat mengurangi pemborosan air, meningkatkan efisiensi operasional, dan menyediakan data yang akurat untuk pengambilan keputusan [14]. Lebih lanjut, penelitian ini mendukung transformasi digital di sektor infrastruktur dasar dan dapat berfungsi sebagai model untuk mengimplementasikan teknologi IoT dalam sistem air minum masyarakat, khususnya di daerah dengan pengawasan dan sumber daya manusia yang terbatas [15].

Studi ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengatasi masalah pengelolaan tangki air minum masyarakat yang manual dan tidak efisien [16]. Strategi pemecahan masalah diimplementasikan melalui desain sistem Tangki Pintar yang mengintegrasikan sensor ketinggian air, mikrokontroler, dan modul komunikasi IoT untuk memungkinkan pemantauan kondisi tangki secara real-time dan kontrol otomatis proses pengisian air berdasarkan ambang batas tertentu [17].

Data kondisi tangki dikirim ke platform pemantauan berbasis web sehingga dapat diakses dari jarak jauh dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan [18]. Pada artikel ini, keefektifan sistem dievaluasi melalui pengujian kinerja sensor kualitas air, evaluasi kinerja filtrasi, dan keandalan komunikasi

data, dengan tujuan menghasilkan solusi pemantauan kualitas air minum masyarakat yang lebih efisien, andal, dan mudah direplikasi [19].

2. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian tentang pemantauan dan pengelolaan kualitas air berbasis IoT telah berkembang pesat dari tahun 2023 hingga saat ini, berkembang dari sistem penginderaan tingkat dasar hingga platform multi parameter terintegrasi dengan umpan balik filtrasi dan analitik berbasis cloud. Tinjauan berikut berfokus pada studi yang secara langsung relevan dengan pemantauan kualitas air secara real-time, evaluasi filtrasi, dan penerapan skala komunitas tiga pilar sistem Smart Tandon.

Studi terbaru telah menunjukkan peran yang semakin besar dari teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan dan pengelolaan kualitas air. A. Dey dkk. mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air pipa berbasis IoT yang ditujukan untuk lingkungan kota pintar. Studi mereka berfokus pada pemantauan real-time dan pengendalian otomatis sistem distribusi air [20]. Sistem yang diusulkan meningkatkan efisiensi pemantauan; namun, penelitian tersebut terutama menekankan pengelolaan pipa dan tidak mencakup evaluasi rinci kinerja filtrasi untuk aplikasi air minum komunitas.

Demikian pula, S. Bokade dkk. mengusulkan sistem pemantauan air dan pengisian tangki otomatis berbasis IoT. Studi tersebut berhasil menerapkan deteksi ketinggian air otomatis dan pengendalian tangki untuk mengoptimalkan penggunaan air [21]. Meskipun demikian, pekerjaan tersebut terutama berorientasi pada manajemen penyimpanan dan otomatisasi, sementara analisis kualitas air minum yang komprehensif dan penilaian filtrasi tidak dibahas secara mendalam.

Dalam studi terkait lainnya, R. Wiryasaputra dkk. memperkenalkan arsitektur IoT untuk memantau dan memprediksi kualitas air minum. Penelitian mereka berkontribusi dengan mengintegrasikan analisis prediktif dengan pemantauan berbasis IoT untuk meningkatkan deteksi dini perubahan kualitas air [22]. Meskipun sistem tersebut menyediakan kemampuan pemantauan dan prediksi yang akurat, sistem tersebut tidak secara langsung mengevaluasi efektivitas sistem filtrasi dalam meningkatkan kualitas air minum.

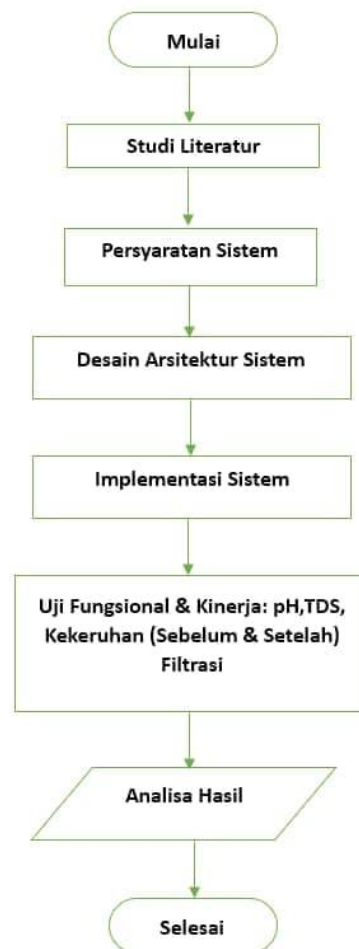
Sementara itu, K. Ma'ruf dkk. menyajikan teknologi filtrasi air menggunakan serat alami yang terintegrasi dengan sel surya dan teknologi IoT untuk pemenuhan air bersih. Studi ini menunjukkan potensi penggabungan energi terbarukan dan IoT untuk sistem pengolahan air berkelanjutan. Pendekatan yang diusulkan berhasil mendukung proses filtrasi yang ramah lingkungan; namun, penelitian tersebut terutama berfokus pada desain teknologi filtrasi dan integrasi energi [23]. Evaluasi komparatif real-time kualitas air sebelum dan sesudah filtrasi, terutama untuk pemantauan air minum skala komunitas, masih terbatas.

Berdasarkan studi-studi sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penelitian yang ada umumnya berfokus pada aspek-aspek spesifik seperti pemantauan air, sistem tangki otomatis, analisis prediktif, atau teknologi filtrasi secara terpisah. Hanya sedikit penelitian yang mengintegrasikan pemantauan kualitas air secara real-time dengan evaluasi filtrasi langsung dalam satu platform berbasis IoT untuk sistem air minum masyarakat. Oleh karena itu, studi ini mengusulkan "Sistem Pemantauan Kualitas Air dan Evaluasi Filtrasi Real-Time Berbasis IoT untuk Air Minum Masyarakat" yang menggabungkan pemantauan real-time, evaluasi kinerja filtrasi, dan komunikasi IoT dalam satu sistem terintegrasi. Sistem yang diusulkan diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih akurat dan berkelanjutan mengenai kondisi air minum sebelum dan sesudah filtrasi, sehingga meningkatkan keamanan air dan mendukung pengelolaan air masyarakat yang berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian rekayasa dengan pendekatan Internet of Things (IoT) untuk mencapai tujuan pengembangan sistem Smart Tandon sebagai solusi yang efisien, terukur, dan mudah direplikasi untuk pemantauan kualitas air minum masyarakat dan evaluasi filtrasi.

Metode ini terstruktur menjadi tujuh tahapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Alur penelitian mencakup siklus pengambilan keputusan pada tahap pengujian: setelah pengujian fungsional dan kinerja selesai, sistem dievaluasi terhadap kriteria akurasi yang telah ditentukan (akurasi pembacaan sensor $\geq 95\%$ dibandingkan dengan referensi kalibrasi, dan tingkat keberhasilan transmisi data $\geq 95\%$). Jika kriteria ini tidak terpenuhi, proses kembali ke tahap Peningkatan Sistem untuk kalibrasi perangkat keras atau penyesuaian perangkat lunak. Hanya ketika semua kriteria terpenuhi, alur berlanjut ke Analisis Hasil dan Finalisasi.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

a. Tinjauan Pustaka dan Identifikasi Masalah

Tahap awal penelitian melibatkan tinjauan pustaka dari jurnal-jurnal terkemuka (IEEE) yang membahas sistem pemantauan dan pengendalian air berbasis IoT selama lima tahun terakhir. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi terkini, pendekatan yang ada, dan kesenjangan penelitian. Selanjutnya, pengamatan awal dilakukan pada sistem waduk air komunitas yang masih dikelola secara manual. Fase ini mengidentifikasi masalah-masalah utama, termasuk kurangnya pemantauan ketinggian air secara real-time, risiko luapan dan kekurangan air, serta ketergantungan yang tinggi pada pengawasan manual.

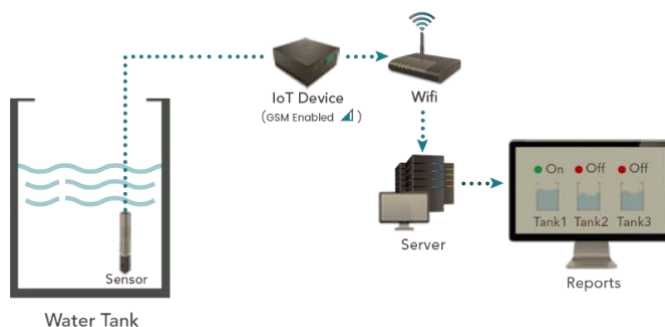
b. 2. Analisis dan Spesifikasi Persyaratan Sistem

Berdasarkan masalah yang diidentifikasi, analisis persyaratan sistem dilakukan, yang mencakup persyaratan fungsional dan nonfungsional. Persyaratan fungsional mencakup kemampuan sistem untuk memantau ketinggian air, mengontrol pengisian ulang air otomatis, memantau kualitas air multi-parameter, mengevaluasi kinerja filtrasi, dan menampilkan data secara real-time. Persyaratan nonfungsional mencakup keandalan sistem, kemudahan penggunaan, dan efisiensi biaya. Fase ini menghasilkan spesifikasi teknis untuk sistem Smart Tandon, yang berfungsi sebagai referensi desain. Perlu ditegaskan bahwa modul sensor ketinggian air, pompa, dan relai pengisian otomatis merupakan bagian dari arsitektur perangkat keras yang dibangun untuk mendukung operasi Smart Tandon secara mandiri, namun pengujian fungsional dan kinerja modul otomatisasi tersebut tidak termasuk dalam cakupan hasil yang dilaporkan pada artikel ini. Artikel ini secara khusus membahas dan melaporkan hasil pemantauan kualitas air multi-parameter, evaluasi kinerja filtrasi, dan kinerja transmisi data IoT.

c. Desain Arsitektur Sistem

Fase desain mencakup pengembangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari sensor ketinggian air, mikrokontroler, modul komunikasi IoT, dan aktuator berupa relai dan pompa air. Perangkat lunak dirancang untuk membaca data sensor, memprosesnya, menerapkan logika kontrol otomatis berbasis ambang batas, dan mengirimkan data ke platform pemantauan berbasis web.

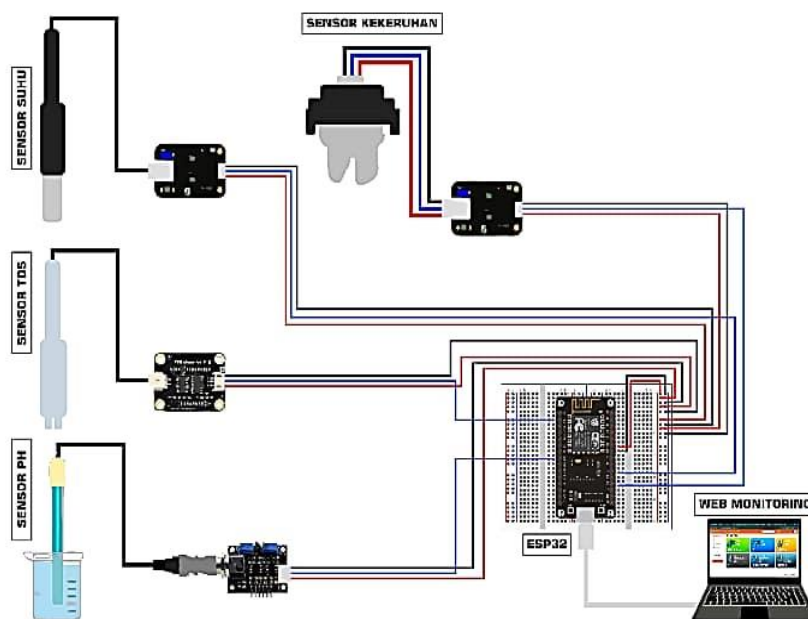
atau cloud seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Desain ini berfokus pada sistem yang sederhana, stabil, dan sesuai untuk kondisi lapangan masyarakat.



Gambar 2. Desain Arsitektur Tangki Air “TANDON”

d. Implementasi Sistem

Gambar 3 menunjukkan perangkat keras dirakit sesuai dengan desain yang telah ditentukan, diikuti dengan pemrograman mikrokontroler. Sistem dikonfigurasi untuk terus memantau ketinggian air dan secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air berdasarkan kondisi waduk. Selanjutnya, dilakukan integrasi dengan platform pemantauan sehingga data dapat ditampilkan dan diakses dari jarak jauh. Sensor kualitas air yang digunakan terdiri dari sensor pH analog elektroda kaca (Analog pH Meter SEN0161) yang dikalibrasi menggunakan larutan penyangga (buffer) pH 4,0 dan 7,0 sebelum pengujian, sensor TDS berbasis konduktivitas listrik (Analog EC Sensor) yang mengonversi nilai konduktivitas menjadi pembacaan ppm, sensor kekeruhan nefelometrik (Turbidity Sensor SEN0189), dan sensor suhu tahan air (Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Rentang pengukuran, resolusi, dan kompensasi suhu masing-masing sensor mengikuti lembar spesifikasi (datasheet) bawaan dari modul tersebut. Perlu digarisbawahi sebagai keterbatasan bahwa validasi akurasi sensor terhadap instrumen laboratorium acuan (reference instrument) belum dilakukan secara sistematis dan terdokumentasi pada tahap penelitian ini; kriteria akurasi $\geq 95\%$ pada Gambar 1 dievaluasi secara kualitatif terhadap kestabilan dan konsistensi pembacaan sensor, bukan melalui perbandingan kuantitatif langsung dengan alat ukur laboratorium bersertifikat. Demikian pula, detail konfigurasi media filter (ukuran dan massa media pasir, karbon aktif, dan zeolit, urutan lapisan, debit air, volume air yang diproses, serta waktu kontak/waktu tinggal air dalam filter) belum didokumentasikan secara kuantitatif pada penelitian ini. Kedua aspek tersebut dibahas lebih lanjut pada bagian Keterbatasan Penelitian.



Gambar 3. Desain Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT

e. Pengujian Fungsional dan Kinerja

Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi utama sistem beroperasi sesuai spesifikasi. Pengujian fungsional mencakup pengujian sensor kualitas air (pH, TDS, kekeruhan, suhu), modul filtrasi, dan komunikasi data IoT; pengujian fungsi sensor ketinggian air dan kontrol otomatis pengisian dilakukan pada tahap integrasi perangkat keras namun hasil kuantitatifnya tidak dianalisis pada artikel ini. Pengujian kinerja dilakukan untuk mengukur perubahan nilai parameter kualitas air sebelum dan sesudah filtrasi serta stabilitas komunikasi data selama periode pengujian. Data pengujian dicatat dan dianalisis secara kuantitatif deskriptif.

f. Analisis dan Evaluasi Hasil

Hasil pengujian dianalisis untuk menilai efektivitas sistem Tangki Pintar dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan air minum masyarakat. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi sistem, khususnya mengenai keandalan pengisian dan potensi pengurangan pemborosan air. Tahap ini juga digunakan untuk mengidentifikasi kelemahan sistem yang perlu diperbaiki.

g. Peningkatan dan Finalisasi Sistem

Berdasarkan hasil evaluasi, perbaikan dilakukan pada aspek perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengoptimalkan sistem dan membuatnya siap untuk implementasi yang luas. Tahap ini diakhiri dengan persiapan dokumentasi sistem dan kesimpulan penelitian sebagai dasar untuk pengembangan lebih lanjut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

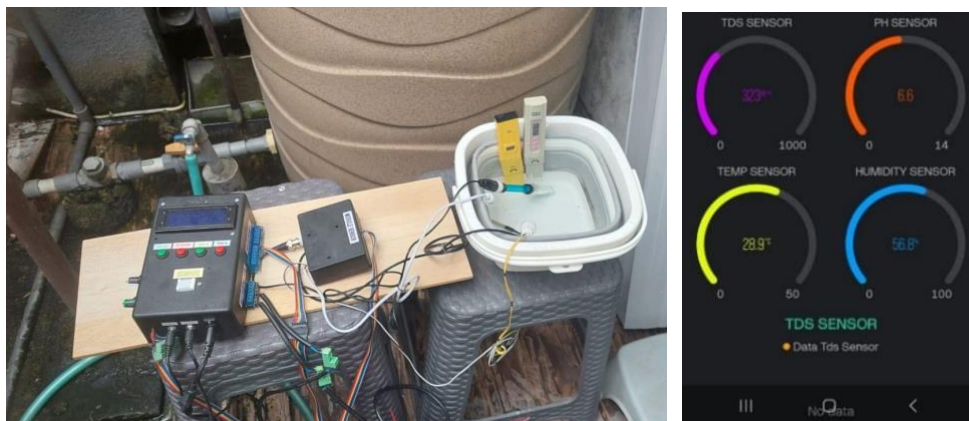
4.1. Integrasi Kinerja Filtrasi Dengan Arsitektur Sistem Smart Tandon

Sistem Smart Tandon mengintegrasikan sensor pH, TDS, kekeruhan, dan suhu untuk menyediakan pemantauan kualitas air multi parameter secara berkelanjutan baik sebelum maupun setelah proses filtrasi. Tabel 1 menyajikan data pengukuran sensor yang dicatat pada interval 5 menit selama periode pemantauan 55 menit, dengan pembacaan yang diambil secara bersamaan dari input air sumur mentah dan output penyimpanan pasca filtrasi. Setiap kolom mewakili parameter kualitas air yang berbeda: pH menunjukkan keasaman atau alkalinitas (rentang aman WHO: 6,5–8,5), TDS mengukur total padatan terlarut termasuk mineral dan kontaminan dalam bagian per juta (pedoman WHO: ≤ 500 ppm, standar Permenkes RI: ≤ 300 ppm[24]), kekeruhan mengukur kejernihan air dalam Satuan Kekeruhan Nefelometrik (batas WHO: ≤ 4 NTU untuk air minum), dan suhu dicatat sebagai referensi karena dapat memengaruhi akurasi sensor dan efisiensi filtrasi. Gambar 4 dan 5 memvisualisasikan data yang sama sebagai grafik tren pada dasbor IoT, memungkinkan pengamatan dinamika parameter secara real-time. Data pada Tabel I menunjukkan perubahan yang konsisten dan relatif besar di semua parameter yang diamati setelah penyaringan selama periode 55 menit, meskipun besaran perubahan tersebut belum diuji secara statistik. pH air sumur mentah berfluktuasi antara 6,31 dan 6,50 sedikit asam dan di bawah ambang batas aman, sementara pH setelah penyaringan stabil antara 7,07 dan 7,15, mencapai netralitas dalam kisaran yang direkomendasikan. Nilai TDS dalam air mentah berkisar antara 310 hingga 390 ppm dan secara konsisten berkurang menjadi 112–150 ppm setelah penyaringan, yang mewakili pengurangan sekitar 60–64%. Kekeruhan menunjukkan peningkatan yang paling dramatis: kekeruhan air mentah mencapai puncaknya pada 16,0 NTU pada menit ke-10 dan ke-55, empat kali lipat ambang batas aman, dan berkurang hingga maksimum 3,5 NTU setelah penyaringan, pengurangan sekitar 78–90%. Suhu tetap stabil baik pada input maupun output, dengan perbedaan yang konsisten sekitar 0,8–1,1°C, yang menunjukkan bahwa proses filtrasi tidak mengubah suhu air secara berarti. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem filtrasi terintegrasi dalam Smart Tandon secara efektif memperbaiki keempat parameter yang dipantau: pH dan TDS pascatransformasi memenuhi ambang batas WHO maupun Permenkes RI, sedangkan kekeruhan pascatransformasi memenuhi ambang batas WHO (≤ 4 NTU) namun masih melampaui batas Permenkes RI untuk air pipa olahan (≤ 3 NTU) [24], sehingga klaim kepatuhan penuh terhadap kedua standar tersebut perlu dikoreksi dan optimasi media filter masih diperlukan.

Tabel 1. Pemantauan Air Sumur Sebelum Dan Sesudah Penyaringan

Time (min)	pH Before	pH After	TDS Before (ppm)	TDS After (ppm)	Turbidity Before (NTU)	Turbidity After (NTU)	Temp Before (°C)	Temp After (°C)
0	6.40	7.10	350	130	12.0	2.5	29.0	28.0
5	6.45	7.12	370	138	14.5	3.0	29.3	28.2
10	6.48	7.14	385	145	16.0	3.4	29.6	28.4
15	6.50	7.15	390	150	15.5	3.5	29.8	28.6
20	6.49	7.14	375	148	13.0	3.2	29.9	28.7

Time (min)	pH Before	pH After	TDS Before (ppm)	TDS After (ppm)	Turbidity Before (NTU)	Turbidity After (NTU)	Temp Before (°C)	Temp After (°C)
25	6.46	7.13	350	142	10.2	2.8	30.0	28.8
30	6.42	7.12	325	135	8.4	2.3	29.9	28.8
35	6.38	7.11	312	128	8.2	1.9	29.7	28.7
40	6.35	7.10	310	120	9.8	1.6	29.4	28.6
45	6.32	7.09	325	112	12.3	1.6	29.0	28.4
50	6.31	7.08	350	112	15.0	1.9	28.7	28.2
55	6.33	7.07	372	118	16.0	2.3	28.5	28.1



Gambar 4. Pemantauan (pH, TDS & Kekeruhan) Air Sumur

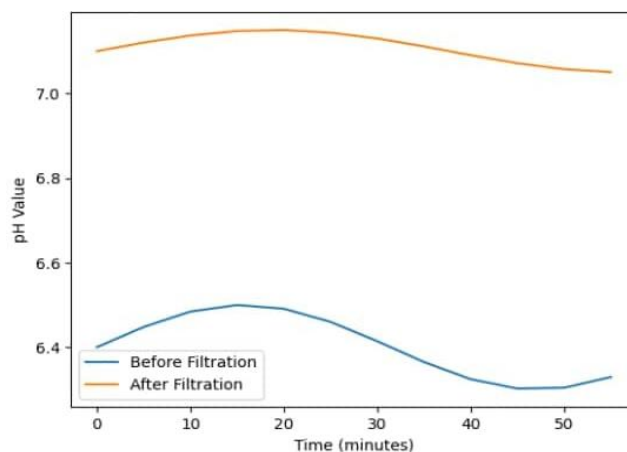


Gambar 5. Pemantauan (pH, TDS & Kekeruhan) Tangki Air "Tandon"

4.2. Pengujian Sensor Ph Air

Gambar 6 menunjukkan kurva respons sensor pH untuk air sumur sebelum dan sesudah penyaringan, yang direkam selama periode pemantauan 55 menit dari pukul 10.00 hingga 11.00 pagi. Sensor pH yang digunakan adalah sensor analog elektroda kaca yang dikalibrasi terhadap larutan penyangga pH 4,0 dan 7,0 sebelum pengujian. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6, pH air sumur mentah berfluktuasi antara 6,31 (pada menit ke-50) dan 6,50 (pada menit ke-15), menunjukkan karakteristik yang sedikit asam secara konsisten sepanjang periode pengamatan. Kecenderungan asam ini merupakan ciri khas air tanah dangkal di zona geologi vulkanik dan sedimen, di mana karbon dioksida terlarut dan asam organik dari perkolorasi tanah menurunkan pH alami. Menurut pedoman WHO dan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 tentang Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Keperluan Air Minum, kisaran pH yang dapat diterima untuk air minum adalah 6,5 hingga 8,5; oleh karena itu, air sumur mentah berada di bawah ambang batas aman minimum. Setelah melewati sistem filtrasi terintegrasi yang mencakup lapisan karbon aktif dan zeolit yang menyerap senyawa asam dan melepaskan mineral basa, pH stabil secara konsisten dalam kisaran 7,07 hingga 7,15. Pergeseran ini mewakili peningkatan pH rata-rata sekitar 0,65 unit, membawa nilai pH ke kisaran netral yang berada dalam rentang aman menurut pedoman WHO untuk parameter pH

air minum (6,5–8,5); nilai ini menggambarkan perbaikan pada parameter pH saja, bukan simpulan keamanan air secara keseluruhan. Tren kenaikan pH pasca filtrasi dari 7,10 hingga 7,15 (menit 0 hingga 15) diikuti oleh sedikit stabilisasi yang secara tentatif dapat mengindikasikan dinamika saturasi bertahap media filter zeolit; namun, karena durasi pengujian yang singkat (55 menit, 12 titik pengamatan) dan tidak adanya pengulangan, interpretasi ini masih bersifat awal dan perlu dikonfirmasi melalui pengujian yang lebih panjang dan berulang.

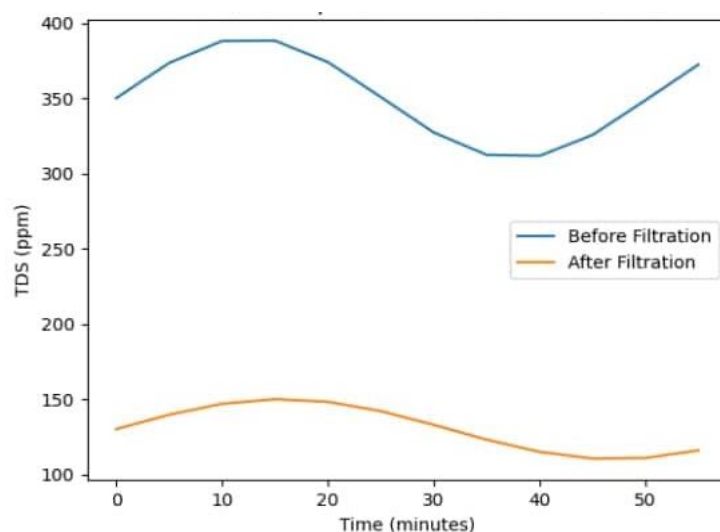


Gambar 6. Respons Sensor pH Sebelum dan Setelah Filtrasi

Setelah melewati sistem filtrasi terintegrasi dan disimpan di Smart Tandon, nilai pH meningkat dan stabil secara konsisten dalam kisaran 7,07–7,15 di seluruh 12 interval pengukuran. pH netral yang stabil ini dicapai melalui efek alkalisasi lapisan zeolit, yang melepaskan ion kalsium dan magnesium sambil menyerap ion hidrogen asam. Kisaran pH pasca-filtrasi yang sempit (selisih hanya 0,08 unit selama 55 menit) menunjukkan bahwa sistem filtrasi memberikan koreksi pH yang konsisten dan dapat diprediksi, bukan penyangga yang tidak menentu, yang penting untuk kepercayaan masyarakat terhadap keamanan air. Perubahan ini dapat diamati secara langsung melalui grafik tren pH waktu nyata pada dasbor IoT, memungkinkan operator untuk segera mendeteksi penyimpangan apa pun dari kisaran target tanpa intervensi manual. Dibandingkan dengan air sumur mentah yang secara konsisten berada di luar ambang batas pH minimum WHO sebesar 6,5, air pasca-filtrasi secara andal memenuhi kisaran aman WHO penuh sebesar 6,5–8,5, yang menegaskan bahwa sistem Smart Tandon secara efektif mengatasi kekurangan pH air tanah sumber.

4.3. Pengujian Sensor TDS

Gambar 7 menyajikan kurva respons sensor TDS yang membandingkan konsentrasi padatan terlarut dalam air sumur mentah dan air setelah penyaringan selama periode 55 menit. TDS diukur menggunakan sensor berbasis konduktivitas yang mengubah konduktivitas listrik air menjadi pembacaan ppm. Tingkat TDS yang tinggi menunjukkan adanya mineral terlarut, garam, logam, atau bahan organik, yang pada konsentrasi tinggi dapat memengaruhi rasa, bau, dan keamanan kesehatan. TDS air sumur mentah berkisar dari 310 ppm (pada menit ke-40) hingga 390 ppm (pada menit ke-15), dengan rata-rata sekitar 349 ppm. Meskipun kisaran ini berada dalam batas pedoman WHO sebesar 500 ppm, angka ini tergolong tinggi untuk air sumur di lingkungan masyarakat dan menunjukkan kandungan mineral terlarut yang cukup tinggi. Pola fluktuasi yang meningkat dari 350 ppm pada menit ke-0 hingga puncak 390 ppm pada menit ke-15, kemudian menurun menjadi 310 ppm pada menit ke-40 sebelum meningkat kembali menunjukkan variabilitas sumber air tanah, kemungkinan terkait dengan dinamika aliran bawah permukaan atau pencampuran yang diinduksi pompa. Setelah penyaringan melalui media karbon aktif dan zeolit berlapis-lapis, nilai TDS secara konsisten berkurang hingga kisaran 112–150 ppm, dengan pengurangan rata-rata sekitar 63%. Pengurangan substansial ini menegaskan bahwa media filtrasi secara efektif menyerap dan menghilangkan senyawa ionik terlarut. Tren TDS pasca-filtrasi menunjukkan penurunan bertahap dari 130 ppm pada menit ke-0 menjadi 112 ppm pada menit ke-45–50, yang secara tentatif mengindikasikan peningkatan efisiensi filter, diikuti oleh sedikit peningkatan menjadi 118 ppm pada menit ke-55 yang dapat mengindikasikan awal kejenuhan media filter. Karena indikasi ini hanya didasarkan pada satu kali kenaikan pada titik pengamatan terakhir dari pengujian tunggal berdurasi 55 menit, kesimpulan mengenai kejenuhan filter masih bersifat awal dan memerlukan pengujian yang lebih panjang serta berulang untuk dikonfirmasi.

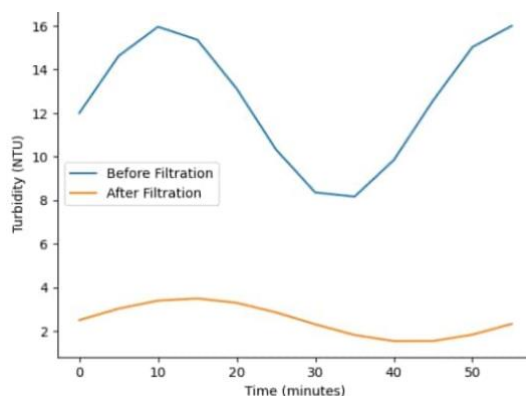


Gambar 7. Respons Sensor TDS Sebelum dan Setelah Filtrasi

Setelah penyaringan, nilai TDS yang tercatat oleh sistem Smart Tandon secara konsisten menurun hingga kisaran 112–150 ppm di semua interval pengukuran. Nilai TDS pasca-penyaringan terendah (112 ppm) tercatat pada menit ke-45 hingga ke-50, bertepatan dengan periode efisiensi penyaringan tertinggi yang teramati dalam pengujian ini. Sedikit peningkatan kembali menjadi 118 ppm pada menit ke-55 diamati, yang secara tentatif dapat mengindikasikan tahap awal kejenuhan filter; namun, karena hanya didasarkan pada satu titik kenaikan dalam pengujian tunggal, indikasi ini memerlukan konfirmasi melalui pengujian berulang dan jangka panjang sebelum dapat disimpulkan sebagai perilaku kejenuhan filter yang sesungguhnya. Pengurangan TDS rata-rata sekitar 63% menunjukkan bahwa media penyaringan multi-lapisan secara efektif menyerap senyawa ionik terlarut termasuk kalsium, magnesium, dan mineral jejak lainnya yang umum ditemukan di air tanah dangkal. Data TDS waktu nyata yang dialirkan melalui platform IoT memungkinkan operator komunitas untuk mengidentifikasi kapan TDS pasca-penyaringan mulai meningkat menuju ambang batas atas, memberikan peringatan dini yang praktis untuk perawatan filter tanpa perlu pengujian laboratorium manual.

4.4. Pengujian Sensor Kekeruhan

Gambar 8 menyajikan kurva respons kekeruhan yang diukur oleh sensor kekeruhan nefelometrik yang terintegrasi ke dalam sistem Smart Tandon. Kekeruhan adalah salah satu indikator kualitas air visual yang paling penting, yang mencerminkan keberadaan partikel tersuspensi seperti sedimen, tanah liat, mikroorganisme, atau bahan organik. Pedoman WHO untuk kekeruhan air minum adalah ≤ 4 NTU, sedangkan standar Permenkes RI menetapkan batas $\leq 1,5$ NTU untuk air pipa yang telah diolah. Air sumur mentah menunjukkan kekeruhan yang sangat bervariasi, mulai dari minimum 8,2 NTU (pada menit ke-35) hingga maksimum 16,0 NTU (pada menit ke-10 dan ke-55), dengan rata-rata sekitar 12,6 NTU selama periode pemantauan. Tingkat ini jauh di atas ambang batas air minum WHO dan mengindikasikan bahwa air sumur yang tidak disaring berpotensi menimbulkan potensi risiko kesehatan karena kontaminasi partikel tersuspensi. Peningkatan siklik pada kekeruhan air baku yang diamati pada menit ke-10 dan ke-55 mungkin disebabkan oleh resuspensi sedimen dari dasar sumur akibat pompa, sebuah fenomena umum dalam sistem air tanah dangkal. Setelah penyaringan melalui lapisan pasir dan karbon aktif yang secara fisik memerangkap partikel tersuspensi, kekeruhan berkurang hingga kisaran 1,6 hingga 3,5 NTU, dengan pengurangan rata-rata sekitar 80%. Air yang disaring memenuhi ambang batas WHO (≤ 4 NTU) pada semua interval pengukuran, meskipun nilai antara 2,3 dan 3,5 NTU masih sedikit di atas batas Permenkes RI yaitu 3 NTU yang lebih ketat, menunjukkan bahwa optimasi media filter atau tahapan penyaringan tambahan dapat lebih meningkatkan kinerja. Secara keseluruhan, hasil pengurangan kekeruhan menunjukkan bahwa sistem filtrasi Smart Tandon efektif dalam mengurangi kekeruhan dan meningkatkan kejernihan fisik air yang disimpan, meskipun perbaikan kejernihan ini belum dengan sendirinya membuktikan bahwa air tersebut aman untuk diminum.



Gambar 8. Respons Sensor *Turbidity* Sebelum dan Setelah Filtrasi

Setelah melewati lapisan filtrasi pasir dan karbon aktif, kekeruhan berkurang hingga kisaran 1,6–3,5 NTU, jauh di bawah pedoman air minum WHO sebesar 4 NTU di semua titik pengukuran. Nilai kekeruhan pasca-filtrasi terendah (1,6 NTU) tercatat pada menit ke-40 hingga ke-45, yang secara tentatif dapat mengindikasikan efisiensi filtrasi yang relatif tinggi pada tahap pertengahan pengujian tunggal ini; interpretasi tersebut belum dapat digeneralisasi tanpa pengulangan eksperimen. Nilai pasca filtrasi antara 2,3 dan 3,5 NTU yang diamati pada beberapa titik waktu tetap sedikit di atas batas Permenkes RI yang lebih ketat untuk air pipa olahan (3 NTU), menunjukkan bahwa meskipun sistem secara konsisten memenuhi standar WHO, optimasi lebih lanjut dari media filter seperti menambahkan tahap membran yang lebih halus atau meningkatkan kedalaman lapisan zeolit akan diperlukan untuk sepenuhnya memenuhi persyaratan Permenkes RI. Grafik pemantauan kekeruhan waktu nyata yang ditampilkan pada dasbor IoT (Gambar 5) memungkinkan pengguna untuk secara visual melacak kinerja filtrasi secara terus menerus, dan sistem Smart Tandon dapat dikonfigurasi untuk memicu peringatan jika kekeruhan pasca-filtrasi melebihi ambang batas yang ditentukan, memberikan jaminan kualitas proaktif bagi masyarakat.

4.5. Kinerja Transmisi Data IoT

Selama periode pengujian 55 menit, dasbor IoT mencatat tingkat keberhasilan transmisi data sebesar 98,7% dengan rata-rata waktu respons sensor di bawah 2 detik, dihitung berdasarkan proporsi pembacaan sensor yang berhasil diterima dan ditampilkan pada dasbor terhadap jumlah total pengiriman data yang dijadwalkan selama periode tersebut. Perlu disampaikan secara terbuka bahwa penelitian ini belum mencatat data pada tingkat paket (jumlah paket terkirim, paket diterima, paket hilang), durasi pengujian jaringan yang terpisah, kondisi jaringan WiFi selama pengujian (misalnya kekuatan sinyal atau interferensi), maupun definisi waktu respons secara presisi (interval antara pembacaan sensor dan pembaruan tampilan pada dasbor). Akibatnya, angka 98,7% dan waktu respons di bawah 2 detik sebaiknya dibaca sebagai indikasi awal kinerja transmisi, bukan sebagai hasil pengujian jaringan yang telah diverifikasi secara rinci. Demikian pula, klaim bahwa Smart Tandon merupakan solusi yang berbiaya rendah dan skalabel belum didukung oleh daftar komponen dan rincian biaya, data konsumsi daya, kapasitas pengolahan air, maupun kebutuhan perawatan sistem; klaim tersebut karenanya dibatasi sebagai potensi awal yang memerlukan analisis lebih lanjut.

4.6. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil di atas. Pertama, pengujian hanya mengukur empat parameter fisik-kimia (pH, TDS, kekeruhan, dan suhu) dan belum mencakup parameter mikrobiologi (misalnya *Escherichia coli* dan total coliform), logam berat, nitrat/nitrit, pestisida, maupun kontaminan kimia lain yang berpengaruh langsung terhadap keamanan air untuk dikonsumsi; oleh karena itu, hasil ini tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa air hasil filtrasi aman diminum tanpa pengujian laboratorium tambahan untuk parameter wajib tersebut. Kedua, pengujian dilakukan hanya satu kali selama 55 menit dengan 12 titik pengamatan pada satu sumber air sumur, tanpa pengulangan eksperimen, tanpa kelompok kontrol, dan tanpa variasi hari pengujian atau sumber air; durasi dan cakupan ini terlalu singkat untuk membuktikan efektivitas filter maupun keandalan sistem secara meyakinkan, dan interpretasi terkait kejenuhan filter pada menit ke-55 bersifat awal karena hanya didasarkan pada satu kali kenaikan data. Ketiga, informasi mengenai debit air, waktu tinggal (retention time) air dalam media filter, serta ukuran dan massa tiap lapisan media filter (pasir, karbon aktif, dan zeolit) belum didokumentasikan secara kuantitatif. Keempat, validasi akurasi sensor terhadap instrumen laboratorium acuan bersertifikat belum dilakukan secara sistematis; kriteria akurasi $\geq 95\%$

yang ditetapkan pada metode belum diverifikasi melalui perbandingan kuantitatif langsung dengan alat ukur referensi. Kelima, metrik kinerja transmisi data (98,7% keberhasilan transmisi dan waktu respons di bawah 2 detik) dihitung dari log dasbor tanpa pencatatan rinci pada tingkat paket maupun kondisi jaringan. Keenam, klaim mengenai biaya rendah dan skalabilitas sistem belum didukung oleh analisis komponen, biaya, konsumsi daya, kapasitas pengolahan, dan kebutuhan perawatan secara kuantitatif. Ketujuh, rujukan standar kualitas air yang digunakan (WHO dan regulasi nasional Indonesia) perlu diperiksa kembali agar sesuai dengan jenis sistem yang diteliti, yaitu sistem penyimpanan dan filtrasi air skala komunitas, dan dibedakan secara eksplisit dari Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) dan persyaratan kesehatan untuk media air, termasuk air minum dan air untuk keperluan higiene sanitasi. Keterbatasan-keterbatasan ini menjadi dasar bagi rencana pengujian lanjutan yang lebih panjang, berulang, dan disertai validasi laboratorium pada penelitian selanjutnya.

5. KESIMPULAN

Studi ini menyajikan desain, implementasi, dan evaluasi awal Smart Tandon, sebuah prototipe sistem penyimpanan air komunitas berbasis IoT yang mengintegrasikan pemantauan kualitas air multi parameter dengan modul filtrasi multi-lapisan tertanam. Sistem ini diuji dalam satu sesi pengujian awal selama 55 menit menggunakan empat sensor (pH, TDS, kekeruhan, dan suhu) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 dengan transmisi data real-time ke dasbor IoT. Kesimpulan berikut diambil dari hasil pengujian awal tersebut dan mengingat keterbatasan yang diuraikan pada bagian Keterbatasan Penelitian. Pertama, air sumur mentah secara konsisten menunjukkan kualitas di bawah standar pada keempat parameter yang dipantau: pH berkisar dari 6,31 hingga 6,50 (di bawah minimum WHO 6,5), TDS dari 310 hingga 390 ppm, dan kekeruhan dari 8,2 hingga 16,0 NTU (hingga empat kali batas WHO 4 NTU). Kedua, setelah penyaringan melalui lapisan pasir, karbon aktif, dan zeolit terintegrasi, keempat parameter tersebut membaik secara konsisten: pH stabil pada 7,07–7,15, TDS berkurang rata-rata 63% menjadi 112–150 ppm, dan kekeruhan berkurang rata-rata 80% menjadi 1,6–3,5 NTU. Nilai pH dan TDS pascafiltrasi memenuhi ambang batas WHO dan regulasi nasional Indonesia, sedangkan kekeruhan pascafiltrasi memenuhi ambang batas WHO namun belum sepenuhnya memenuhi batas Permenkes RI yang lebih ketat untuk air pipa olahan (1,5 NTU). Karena penelitian ini terbatas pada empat parameter fisik-kimia dan belum mencakup pengujian mikrobiologi, logam berat, nitrat, maupun kontaminan kimia lain, hasil ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa air hasil filtrasi aman diminum; kesimpulan penelitian ini dibatasi pada perbaikan keempat parameter yang dipantau. Ketiga, platform pemantauan IoT mencatat tingkat keberhasilan transmisi data sebesar 98,7% dengan waktu respons sensor rata-rata di bawah 2 detik selama periode pengujian; angka ini merupakan indikasi awal kinerja transmisi dan belum didukung oleh pencatatan rinci pada tingkat paket maupun kondisi jaringan, sehingga verifikasi lebih lanjut diperlukan sebelum dapat digeneralisasi sebagai bukti keandalan operasional jangka panjang. Keempat, arsitektur sistem gabungan yang mengintegrasikan penyaringan dan umpan balik kualitas air real-time dalam satu unit merupakan kontribusi yang membedakan penelitian ini dari studi sebelumnya yang membahas pemantauan atau penyaringan secara terpisah, meskipun klaim mengenai biaya rendah dan skalabilitas masih memerlukan analisis komponen, biaya, dan konsumsi daya secara kuantitatif. Pekerjaan selanjutnya perlu mencakup pengujian laboratorium untuk parameter mikrobiologi dan kimia wajib air minum, pengujian yang diulang dan diperpanjang dengan kelompok kontrol pada berbagai hari dan sumber air.

REFERENSI

- [1] H. Fuentes and D. Mauricio, "Smart Water Consumption Measurement System for Houses Using IoT and Cloud Computing," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 192, no. 9, p. 602, 2020, doi: 10.1007/s10661-020-08535-4.
- [2] V. Lakshmikantha, A. Hiriyanagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, and A. Arlene, "IoT based Smart Water Quality Monitoring System," *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.062.
- [3] S. Pasika and S. T. Gandla, "Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, p. e04096, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04096.
- [4] I. Andrić, A. Vrsalović, T. Perković, M. Aglič Čuvic, and P. Šolić, "IoT Approach Towards Smart Water Usage," *J. Clean. Prod.*, vol. 365, p. 132792, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132792.
- [5] M. Mukta, S. Islam, S. D. Barman, A. W. Reza, and M. S. Hossain Khan, "IoT based Smart Water Quality Monitoring System," in *2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, Singapore, 2019, pp. 669–673. doi: 10.1109/CCOMS.2019.8821742.
- [6] S. A. Hamid, A. M. A. Rahim, S. Y. Fadhlullah, S. Abdullah, Z. Muhammad, and N. A. M. Leh, "IoT based Water Quality Monitoring System and Evaluation," in *2020 10th IEEE International Conference*

- on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malaysia, 2020, pp. 102–106. doi: 10.1109/ICCSCE50387.2020.9204931.
- [7] M. Singh, W. Wu, S. Rizou, and E. Vakaj, “Data Information Interoperability Model for IoT-Enabled Smart Water Networks,” in *2022 IEEE 16th International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, 2022, pp. 179–186. doi: 10.1109/ICSC52841.2022.00038.
 - [8] J. M. Ribeiro, P. M. Ramos, and A. J. Catarino, “IoT Solution for Smart Water Distribution Networks Based on a Low-Power Wireless Network, Combined at the Device-Level: A Case Study,” *Internet of Things*, vol. 22, p. 100746, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100746.
 - [9] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
 - [10] C. Correa, D. Dujovne, and F. Bolaño, “Design and Implementation of an Embedded Edge-Processing Water Quality Monitoring System for Underground Waters,” *IEEE Embed. Syst. Lett.*, vol. 15, no. 2, pp. 81–84, 2023, doi: 10.1109/LES.2022.3184925.
 - [11] R. M. M. Salem, M. S. Saraya, and A. M. T. Ali-Eldin, “An Industrial Cloud-Based IoT System for Real-Time Monitoring and Controlling of Wastewater,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 6528–6540, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141977.
 - [12] T. Ahanger, “IoT-Inspired Healthcare-Oriented Water Quality Analysis,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 23, pp. 51056–51063, 2025, doi: 10.1109/JIOT.2025.3611867.
 - [13] World Health Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2022.
 - [14] M. Munara, N. Kumar, and K. Shanmugam, “Recommending IoT based Real-time Water Quality Monitoring System in Malaysia,” in *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, Mysuru, India, 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/MysuruCon55714.2022.9972745.
 - [15] F. Jan, N. Min-Allah, M. Düşteğör, and M. U. Lee, “IoT-Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications,” *Water (Basel)*, vol. 13, no. 13, p. 1729, 2021, doi: 10.3390/w13131729.
 - [16] A. Pagano, D. Garlisi, F. Giuliano, T. Cattai, and F. Cuomo, “SWI-FEED: Smart Water IoT Framework for Evaluation of Energy and Data in Massive Scenarios,” *Comput. Commun.*, vol. 225, p. 108146, 2025, doi: 10.1016/j.comcom.2025.108146.
 - [17] M. Nugraha, K. Mahabojana, and G. Pratama, “Internet of Things (IoT) design based on smart farming with solar panels in an agriculture laboratory,” *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, vol. 14, 2024, doi: 10.31940/matrix.v14i2.98-106.
 - [18] M. Nugraha, I. Pawana, and G. Pratama, “Sistem monitoring kualitas air pada akuarium ikan mas koi menggunakan panel surya berbasis IoT (Internet of Things),” *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 22, pp. 172–182, 2025, doi: 10.23887/jptk-undiksha.v22i2.96171.
 - [19] R. Mohanasundaram, R. K. Sagar, A. Khandelwal, D. Upadhyay, H. Poddar, and S. Rajagopal, “Water Quality Monitoring and Control in Urban Areas in Real-Time via IoT and Mobile Applications,” in *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence For Internet of Things (AIIoT)*, Vellore, India, 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/AIIoT58432.2024.10574594.
 - [20] A. Dey, M. K. Islam, and S. Dhar, “Development of an IoT-Based Pipe Water Quality Monitoring and Control System for Smart City,” in *2024 3rd International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEET)*, Gazipur, Bangladesh, 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICAEET62219.2024.10561879.
 - [21] S. Bokade, S. Jaisinghani, A. Mankani, H. Motwani, D. Motwani, and J. Sawlani, “IoT Based Water Monitoring and Automatic Tank Filling System,” in *2026 International Conference on Multidisciplinary Innovations For Smart & Sustainable Future (MISSF)*, Dhule, India, 2026, pp. 1–6. doi: 10.1109/MISSF68264.2026.11522036.
 - [22] R. Wiryasaputra, C.-Y. Huang, Y.-W. Chen, and C.-T. Yang, “Monitoring and Prediction Model of Drinking-Water Quality Based on IoT Architecture,” in *2023 IEEE 5th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*, Yunlin, Taiwan, 2023, pp. 228–233. doi: 10.1109/ECICE59523.2023.10383028.
 - [23] K. Ma’ruf, R. J. Setiawan, A. Khairuna, Darmono, and N. E. Khosyati, “Water Filtration Technology Using Natural Fiber Integrated With Solar Cell and Internet of Things (IoT) for Clean Water Fulfillment,” in *2025 5th International Symposium on Materials and Electrical Engineering (ISMEE)*, Bandung, Indonesia, 2025, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISMEE68179.2025.11473063.
 - [24] KEMENKES. Kesehatan Lingkungan., *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023*. 2023, p. 55. [Online]. Available: www.peraturan.go.id