

Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things (IoT) di Industri Kelapa Sawit PT. Pola Kahuripan Inti Sawit

Designing An Internet Of Things (IoT)-Based Water Quality Monitoring System In The Palm Oil Industry at PT. Pola Kahuripan Inti Sawit

Nina Hairiyah¹, Alya Rahmaida¹, Risna Dwi Latifah¹, Imron Musthofa², Jihan Pradesi¹, Fina Pradika Putri¹

¹ Program Studi Agroindustri, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut, JL. A. Yani Km. 06 Desa Panggung, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia, Kode Pos 70815, Indonesia

²Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Tanah Laut,

*Email: ninahairiyah@politala.ac.id

Naskah diterima: 29 April 2025; Naskah disetujui: 24 November 2025

ABSTRACT

Effective water quality monitoring is crucial in the palm oil industry to maintain operational sustainability. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system that can track pH and turbidity parameters in real-time at PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. The methodology involves designing a system that integrates pH and turbidity sensors connected to an ESP32 microcontroller, with the generated data sent to the Blynk platform for remote monitoring. The testing results show that both pH and turbidity sensors have good accuracy, with Mean Absolute Percentage Errors (MAPE) of 2.20% and 1.30%, respectively. This system successfully replaces the manual monitoring system, which takes longer to detect changes in water quality. The implications of this study are that IoT-based systems can enhance operational efficiency and ensure that water quality consistently meets established standards. This research contributes to the development of IoT technology in industrial water quality management and opens opportunities for further research on long-term testing and application in other industries.

Keywords: IoT, water quality, turbidity, pH, industry

ABSTRAK

Pemantauan kualitas air yang efektif sangat penting dalam industri kelapa sawit untuk menjaga keberlanjutan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau parameter pH dan turbidity secara real-time di PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. Metode yang digunakan melibatkan perancangan sistem yang terdiri dari sensor pH dan turbidity yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32, dan data yang dihasilkan dikirim ke platform Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH dan turbidity memiliki akurasi yang baik, dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) masing-masing sebesar 2,20% dan 1,30%. Sistem ini berhasil menggantikan sistem manual yang memerlukan waktu lebih lama untuk mendeteksi perubahan kualitas air. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa penerapan sistem berbasis IoT dapat

meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan kualitas air selalu memenuhi standar yang ditetapkan. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi IoT dalam pengelolaan kualitas air industri, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai pengujian jangka panjang dan penerapan di industri lain.

Kata kunci: IoT, kualitas air, turbidity, pH, industri

PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih menjadi faktor krusial dalam operasional industri, terutama dalam industri pengolahan kelapa sawit, yang memerlukan pasokan air yang cukup untuk berbagai kebutuhan, baik untuk proses produksi maupun domestik. Air yang digunakan dalam proses pengolahan kelapa sawit umumnya berasal dari sumber-sumber alam seperti waduk, yang memiliki tingkat kekeruhan tinggi. Kekeruhan ini menuntut pengolahan yang lebih intensif agar kualitas air yang dihasilkan memenuhi standar yang ditetapkan. PT. Pola Kahuripan Inti Sawit, sebagai salah satu perusahaan pengolahan kelapa sawit, telah mengoperasikan fasilitas *Water Treatment Plant (WTP)* untuk mengolah air baku menjadi air bersih yang siap digunakan dalam produksi. Namun, meskipun fasilitas ini ada, sistem pemantauan kualitas air yang masih bersifat manual berisiko menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan pada parameter-parameter kunci, seperti pH dan *turbidity* (kekeruhan), yang berpotensi mengancam kualitas air yang dihasilkan (Anggraini, 2024).

Parameter pH dan *turbidity* memiliki peran yang sangat penting dalam pengolahan air. Ketidaksihesuaian pH dapat memengaruhi proses koagulasi dan flokulasi yang digunakan dalam pengolahan air, yang berujung pada kualitas air yang tidak sesuai standar (Bakhit, 2024). Demikian pula, tingkat kekeruhan yang tinggi dapat mengurangi efisiensi filtrasi, yang pada gilirannya menurunkan kualitas air dan meningkatkan biaya operasional. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, standar kualitas air untuk *turbidity* harus kurang dari 3 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), sementara pH air harus berada dalam rentang 6,5 hingga 8,5. Oleh karena itu, pemantauan yang akurat dan tepat waktu terhadap kedua parameter ini sangat diperlukan untuk menjaga kualitas air yang dihasilkan dan memastikan keberlanjutan operasional pabrik (Aryotejo, 2024).

Saat ini, pemantauan kualitas air di PT. Pola Kahuripan Inti Sawit dilakukan secara manual, di mana parameter pH dan *turbidity* diperiksa setiap satu jam sekali. Namun, pendekatan manual ini sering kali tidak optimal dalam mendeteksi perubahan mendadak pada kualitas air (Bo, 2021). Jika perubahan tersebut tidak terdeteksi tepat waktu, kualitas

air yang dihasilkan bisa tidak memenuhi standar yang ditetapkan, yang dapat menyebabkan kerugian finansial akibat kerusakan produk atau peralatan. Selain itu, ketidaksesuaian dengan standar kualitas dapat mengarah pada sanksi hukum atau denda dari pihak berwenang. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang lebih cepat dan efisien untuk memantau kualitas air secara *real-time*.

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan kualitas air (Singh, 2023). Dengan menggunakan sensor pH dan *turbidity* yang terhubung dengan mikrokontroler seperti ESP32, data kualitas air dapat dikumpulkan secara terus-menerus dan langsung dikirimkan ke aplikasi pemantauan berbasis IoT seperti *Blynk*. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan parameter kualitas air secara *real-time*, sehingga operator pabrik dapat dengan cepat mendeteksi perubahan parameter dan mengambil tindakan yang diperlukan (Liao, 2025). Selain itu, sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, yang sering kali memakan waktu dan sumber daya yang tidak sedikit, serta meningkatkan responsivitas terhadap perubahan kualitas air yang mendadak (Alfonso, 2023).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa teknologi IoT memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi pemantauan kualitas air di berbagai sektor industri. Evan (2023) menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT dapat memberikan data yang lebih akurat dan terkini, yang memungkinkan pengambilan keputusan lebih cepat dan tepat. Begitu pula penelitian oleh Abdelmoez (2024) yang mengungkapkan bahwa teknologi IoT dapat digunakan untuk memantau kualitas air dengan lebih efisien di industri pengolahan kelapa sawit. Penelitian ini membuktikan bahwa IoT dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efektivitas pengelolaan kualitas air. Namun, meskipun teknologi IoT menjanjikan banyak manfaat, penerapannya dalam pengolahan air di industri kelapa sawit masih menghadapi beberapa tantangan, salah satunya adalah akurasi sensor dalam lingkungan industri yang memiliki kondisi ekstrem, seperti fluktuasi suhu dan kelembaban yang tinggi (Abdulbaqi, 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT di PT. Pola Kahuripan Inti Sawit yang dapat memantau parameter pH dan *turbidity* secara *real-time*. Penelitian ini juga akan menguji akurasi sensor pH dan *turbidity* yang digunakan dalam sistem tersebut, dengan membandingkannya dengan alat ukur standar yang telah dikalibrasi. Diharapkan bahwa sistem yang dikembangkan akan mampu memberikan data yang lebih akurat dan cepat dalam memantau kualitas air, serta mengurangi ketergantungan pada

sistem pemantauan manual yang ada. Dengan demikian, sistem berbasis IoT ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengolahan air, serta memastikan kualitas air yang dihasilkan selalu memenuhi standar yang ditetapkan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu industri pengolahan kelapa sawit yaitu PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. Penelitian berlangsung selama lima bulan, mulai dari Oktober 2024 hingga Maret 2025. Pengujian dan pengambilan data dilakukan di stasiun *Water Treatment Plant* (WTP) untuk memantau parameter pH dan *turbidity* air.

Alat dan Bahan

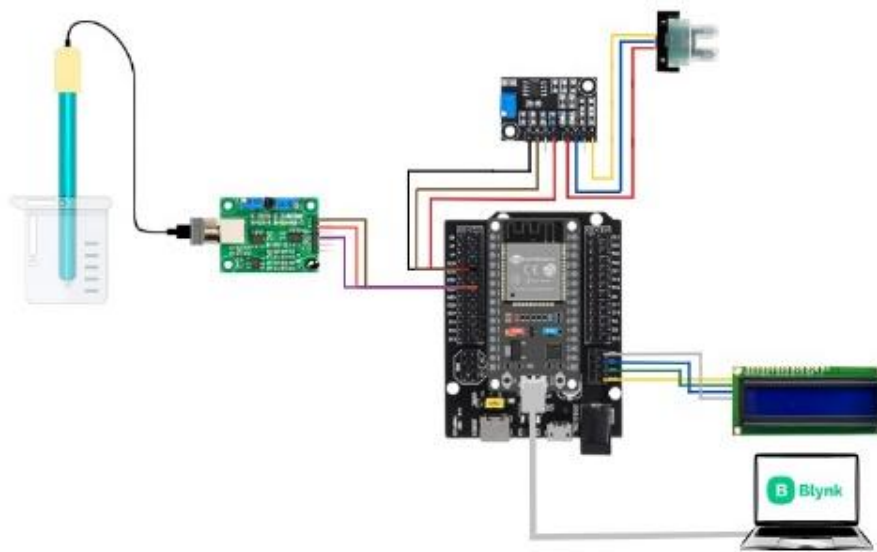
Dalam penelitian ini, sejumlah peralatan digunakan untuk mendukung pengukuran dan monitoring kualitas air. Pertama, sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air, sedangkan sensor *turbidity* berfungsi untuk menentukan kekeruhan air. Data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut diproses menggunakan mikrokontroler ESP32, yang juga bertanggung jawab untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke *platform Internet of Things* (IoT) bernama *Blynk*. Untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik, *power supply* disiapkan untuk memberikan daya listrik yang diperlukan. Selain itu, LCD digunakan untuk menampilkan informasi secara lokal mengenai kualitas air. Penghubung antar komponen dilakukan menggunakan kabel, dan laptop digunakan untuk pemrograman mikrokontroler serta analisis data. Alat ukur standar juga disediakan sebagai pembanding untuk menguji akurasi sensor yang digunakan. Dalam proses ini, *software* pendukung seperti Arduino IDE versi 2.3.4 digunakan untuk pemrograman, sedangkan *Blynk* berfungsi sebagai aplikasi pemantauan *real-time* yang dapat diakses melalui *smartphone*. Terakhir, semua komponen elektronik dilindungi oleh *box project* untuk menjaga keawetan dan keamanan alat.

Prosedur Kerja

Perancangan alat keras (*hardware*)

Rancangan perangkat keras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 untuk penelitian ini dibuat menggunakan aplikasi desain grafis. Semua komponen elektronik dirakit sesuai dengan diagram yang telah dirancang. Sensor pH dan *turbidity* dihubungkan

ke ESP32, dengan pin analog D34 untuk sensor pH dan pin analog D35 untuk sensor turbidity. Koneksi ground (G) dan VCC juga dilakukan sesuai dengan spesifikasi ESP32. Setelah perakitan, ESP32 dihubungkan ke *power supply* dan disambungkan ke laptop untuk pemrograman, diikuti dengan pengujian awal untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik.



Gambar 1. Rancangan perangkat keras

Perancangan alat lunak (*software*)

Platform Blynk dirancang untuk menerima data dari ESP32 dan menampilkannya secara *real-time* pada aplikasi *smart phone*. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE versi 2.3.4 untuk mengatur ESP32 agar dapat membaca data dari sensor pH dan turbidity, menampilkan data pada LCD, serta mengirim data ke *platform IoT (Blynk)*. *Blynk* merupakan aplikasi yang dapat diakses melalui perangkat IOS dan Android untuk mengontrol mikrokontroler secara *online* (Gunawan, 2018).

Prosedur kerja alat

Prosedur kerja alat monitoring kualitas air berbasis IoT dimulai dengan menyalakan sistem. Setelah dinyalakan, ESP32 melakukan inisialisasi sistem, termasuk pengaturan sensor pH, sensor turbidity, LCD, dan koneksi WiFi untuk terhubung ke aplikasi *Blynk*. Setelah semua komponen siap, sistem mulai membaca data dari sensor. Data dari kedua sensor ini diproses oleh ESP32. Jika data berhasil terbaca, nilai pH dan *turbidity* ditampilkan pada LCD untuk informasi lokal. Selanjutnya, data tersebut dikirim ke aplikasi

Blynk melalui koneksi WiFi, memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air secara *real-time*. Proses ini berulang terus-menerus hingga alat dimatikan.

Evaluasi hasil akurasi sistem

Kalibrasi dilakukan pada sensor pH dan *turbidity* menggunakan alat ukur standar untuk memastikan akurasi pengukuran. Data dari sistem monitoring yang telah dirancang dibandingkan dengan data dari alat ukur standar. Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sistem menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE digunakan untuk mengukur kesalahan dengan menghitung persentase penyimpangan antara data aktual dan data peramalan (Krisma et al., 2019). Perhitungan MAPE dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{Y't - Yt}{Y't} \right| \times 100\%}{n}$$

Keterangan:

$Y't$ = Data alat ukur pembanding

Yt = Data alat ukur alat yang dibuat

n = Jumlah data

Hasil evaluasi menggunakan metode MAPE menunjukkan bahwa jika nilai MAPE berada di bawah 10%, performa alat sangat baik; antara 10% - 20% menunjukkan performa baik; antara 20% - 50% menunjukkan performa layak; dan di atas 50% menunjukkan performa buruk (Irvin et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk menggantikan sistem pemantauan manual yang ada di PT. PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. Pemantauan parameter pH dan *turbidity* (kekeruhan) secara terus-menerus sangat penting dalam memastikan kualitas air yang dihasilkan memenuhi standar yang ditetapkan oleh peraturan yang berlaku (Makhtar, 2022). Standar kualitas air ini mencakup batasan tertentu untuk *turbidity* dan pH yang harus dipenuhi agar air yang dihasilkan dapat digunakan dalam proses produksi kelapa sawit tanpa mengganggu kualitas produk akhir maupun kelangsungan operasional pabrik (Abai, 2019).

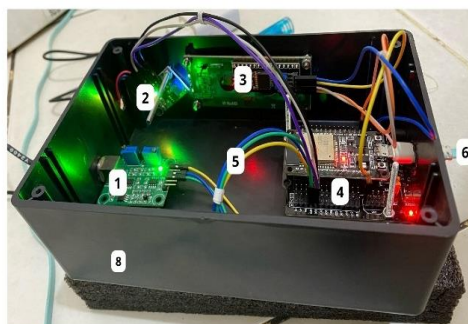
Pada tahap perancangan, sistem ini mengintegrasikan sensor pH dan *turbidity* dengan mikrokontroler ESP32 untuk pengolahan dan pengiriman data secara langsung ke

platform Blynk. Platform ini memungkinkan pemantauan kualitas air secara real-time, sehingga operator pabrik dapat segera mendeteksi adanya perubahan yang signifikan pada parameter-parameter kualitas air. Data yang diperoleh dari sensor pH dan turbidity diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui koneksi Wi-Fi. Sistem ini memberikan data secara real-time yang dapat diakses kapan saja melalui perangkat mobile (Somantri, 2023).



Gambar 2. Tampilan luar implementasi sistem

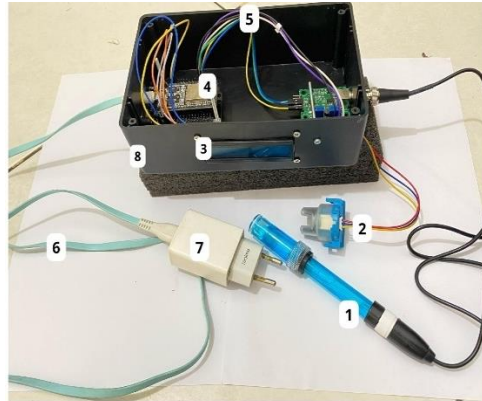
Gambar 2 menunjukkan desain sistem perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini terdiri dari sensor pH dan *turbidity* yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32, yang bertugas untuk mengumpulkan dan mengirimkan data secara *real-time*. Komponen lainnya termasuk layar LCD untuk menampilkan informasi secara lokal dan koneksi Wi-Fi yang menghubungkan ESP32 ke platform IoT *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh. Diagram ini memberikan gambaran tentang perancangan perangkat keras yang digunakan dalam sistem monitoring kualitas air.



Gambar 3. Tampilan dalam implementasi sistem

Gambar 3 memperlihatkan tampilan luar dari implementasi sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang digunakan di PT. PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. Komponen yang terlihat meliputi sensor pH dan *turbidity*, mikrokontroler ESP32, serta perangkat pelengkap lainnya yang mendukung sistem berjalan dengan optimal. Gambar ini juga

menggambarkan bagaimana alat-alat ini dipasang dalam sebuah kotak pelindung untuk menjaga keamanan dan keawetan komponen elektronik selama pengoperasian.



Gambar 4. Tampilan keseluruhan implementasi sistem

Gambar 4 menunjukkan implementasi keseluruhan sistem, yang mencakup semua komponen penting yang telah disebutkan, dengan penataan perangkat keras dan koneksi yang ditata sesuai dengan diagram yang telah dirancang. Gambar ini memberikan pandangan menyeluruh tentang cara komponen-komponen bekerja bersama dalam memantau kualitas air secara real-time.

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sensor pH yang digunakan dalam sistem IoT ini memiliki akurasi yang baik, dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 2,20%. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor pH cukup dapat diandalkan dalam mendeteksi perubahan tingkat keasaman air, dengan kesalahan yang masih berada dalam batas toleransi yang diterima dalam pengukuran kualitas air. Sensor pH beroperasi dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen dalam air, yang kemudian dikonversi menjadi nilai pH. Sebagai contoh, pada pengukuran pertama, sensor mencatat nilai pH sebesar 6,1, sementara alat ukur standar menunjukkan 6,3, dengan selisih kesalahan 3,17%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor pH memiliki kinerja yang stabil, dan hasil pengukurannya tidak menyimpang jauh dari alat ukur standar yang digunakan sebagai acuan (Yang, 2025).

Tabel 1 menyajikan hasil evaluasi terhadap sensor pH yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air. Tabel ini menunjukkan nilai pengukuran pH yang diambil dari sensor dan dibandingkan dengan alat ukur standar, serta persentase kesalahan (*error*) yang dihitung menggunakan metode MAPE. Nilai MAPE sebesar 2,20% menunjukkan bahwa sensor pH yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat akurasi yang memadai dan dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas air secara *real-time* (Subha, 2022).

Tabel 1. Hasil evaluasi sensor pH

Data Ke-	Hasil pengukuran		Selisih	Error
	Sensor pH	Alat ukur		
1	6,1	6,3	0,2	3,17 %
2	6,4	6,5	0,1	1,53 %
3	6,3	6,5	0,2	3,17 %
4	6,4	6,3	0,1	1,58 %
5	6,5	6,4	0,1	1,56 %
6	6.11	6.04	0.07	1.16
7	6.48	6.43	0.05	0.78
8	6.28	6.32	-0.04	0.63
9	6.33	6.22	0.11	1.77
10	6.37	6.29	0.08	1.27
11	6.27	6.16	0.11	1.78
12	6.21	6.30	-0.09	1.43
13	6.29	6.40	-0.11	1.72
14	6.44	6.39	0.05	0.78
15	6.40	6.31	0.09	1.42
16	6.38	6.25	0.13	2.08
17	6.45	6.44	0.01	0.16
18	6.50	6.46	0.04	0.62
19	6.27	6.33	-0.06	0.95
20	6.29	6.22	0.07	1.13
21	6.33	6.38	-0.05	0.78
22	6.31	6.28	0.03	0.48
23	6.35	6.39	-0.04	0.63
24	6.42	6.40	0.02	0.31
25	6.20	6.26	-0.06	0.96
26	6.34	6.29	0.05	0.80
27	6.28	6.32	-0.04	0.63
28	6.29	6.25	0.04	0.64
29	6.35	6.31	0.04	0.63
30	6.27	6.33	-0.06	0.95
MAPE				2,20

Begitu pula dengan sensor *turbidity*, hasil pengujian menunjukkan performa yang sangat baik, dengan MAPE sebesar 1,30%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor *turbidity* sangat akurat dalam mengukur tingkat kekeruhan air, sebuah parameter yang sangat vital dalam pengolahan air di industri kelapa sawit. Sensor *turbidity* ini bekerja berdasarkan prinsip optik, di mana cahaya yang dipancarkan akan terdispersi oleh partikel-partikel dalam air. Sebagai contoh, pada pengukuran pertama, sensor *turbidity* mencatat nilai 736 NTU, sedangkan alat ukur standar menunjukkan nilai 729 NTU, dengan selisih kesalahan sebesar 0,96%. Nilai kesalahan ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan batas toleransi yang biasa diterima dalam pengukuran kekeruhan, yang umumnya di bawah 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor *turbidity* memberikan data yang konsisten dan sangat akurat dalam mendeteksi kekeruhan dalam air (Puviarasi, 2021).

Tabel 2. Hasil evaluasi sensor *turbidity*

Data Ke-	Hasil pengukuran		Selisih	<i>Error</i>
	Sensor <i>turbidity</i>	Alat ukur		
1	736	729	7	0,96 %
2	180	177	3	1,69 %
3	110,3	110	0,3	0,03 %
4	380	378	2	2,56 %
5	479	478	1	1,28 %
6	516.69	509.99	6.70	1.31
7	736.59	739.47	-2.87	0.39
8	232.89	242.27	-9.38	3.87
9	477.42	469.50	7.92	1.69
10	617.75	624.05	-6.29	1.01
11	456.51	453.24	3.28	0.72
12	285.13	279.91	5.22	1.87
13	114.53	120.02	-5.49	4.57
14	502.21	505.59	-3.38	0.67
15	655.86	647.28	8.58	1.33
16	368.61	364.44	4.17	1.14
17	586.62	585.11	1.51	0.26
18	338.46	334.74	3.73	1.11
19	708.55	711.28	-2.73	0.38
20	453.07	450.22	2.85	0.63
21	352.96	358.40	-5.44	1.52
22	281.37	278.56	2.81	1.01
23	690.89	683.92	6.97	1.02
24	169.28	160.92	8.36	5.20
25	307.19	312.43	-5.24	1.68
26	746.37	738.61	7.76	1.05
27	233.02	236.87	-3.85	1.63
28	481.53	479.13	2.40	0.50
29	405.02	398.75	6.27	1.57
30	604.82	602.14	2.68	0.45
MAPE (%)			1,30 %	

Tabel 2 menyajikan hasil evaluasi terhadap sensor *turbidity* dalam sistem monitoring kualitas air berbasis IoT. Data yang ditampilkan mencakup hasil pengukuran *turbidity* yang diambil dari sensor dan dibandingkan dengan alat ukur standar. Dengan MAPE sebesar 1,30%, tabel ini mengonfirmasi bahwa sensor *turbidity* dapat memberikan data yang akurat dan konsisten, mendukung tujuan sistem dalam pemantauan kualitas air secara *real-time*. Hasil ini juga menunjukkan bahwa sensor *turbidity* dapat diandalkan untuk mendeteksi kekeruhan air secara efektif, yang penting dalam pengelolaan kualitas air (Selvaganesh, 2024).

Meskipun kedua sensor menunjukkan hasil yang memadai, evaluasi dalam berbagai kondisi lingkungan industri menunjukkan bahwa faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi kinerja sensor (Syeed, 2023). Sebagai contoh, fluktuasi suhu yang tinggi di lingkungan industri kelapa sawit dapat mempengaruhi respon sensor terhadap perubahan kualitas air. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor harus memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi untuk memastikan akurasi data yang lebih baik dalam jangka panjang. Oleh karena itu, kalibrasi ulang secara berkala dan pemeliharaan sistem yang kontinu sangat diperlukan untuk memastikan kinerja optimal sensor dalam aplikasi industri (Alnajjar, 2023).

Selain itu, meskipun teknologi IoT memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional, implementasi sistem ini memerlukan sumber daya yang cukup, baik dalam hal peralatan maupun pelatihan tenaga kerja. Penggunaan sensor dan mikrokontroler seperti ESP32, serta *platform* Blynk, memerlukan pemrograman yang cermat dan pemeliharaan sistem yang berkelanjutan untuk memastikan bahwa sistem tetap berfungsi dengan baik (Firdaus, 2023). Oleh karena itu, PT. PT. Pola Kahuripan Inti Sawit perlu memastikan kesiapan teknis dan sumber daya manusia untuk mendukung implementasi dan pemeliharaan sistem ini.



Gambar 5. Tampilan *blynk* di *smart phone* pada monitoring kualitas air

Gambar 5 menunjukkan antarmuka aplikasi *Blynk* yang digunakan untuk pemantauan kualitas air. Dalam tampilan ini, data pH dan *turbidity* ditampilkan melalui *widget* yang menampilkan nilai numerik dan grafik, memudahkan pengguna dalam memantau kondisi air secara *real-time*. Setiap parameter ditandai dengan warna berbeda,

dengan pH yang ditampilkan dalam warna biru dan *turbidity* dalam warna kuning. Ini menggambarkan bagaimana aplikasi IoT digunakan untuk mengontrol dan memonitor kualitas air dari jarak jauh menggunakan perangkat *mobile*.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dalam pemantauan kualitas air dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan efektif dibandingkan dengan sistem manual yang ada. Sistem ini mampu memberikan data *real-time* yang dapat diakses oleh operator pabrik, memungkinkan deteksi cepat terhadap perubahan parameter pH dan *turbidity* yang dapat mempengaruhi kualitas air. Implementasi sistem IoT ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional di PT. Pola Kahuripan Inti Sawit, mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, serta memastikan bahwa kualitas air yang dihasilkan selalu memenuhi standar yang ditetapkan. Sistem ini juga memiliki potensi untuk diterapkan di industri lain yang menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan kualitas air (Malik, 2023).

Namun, untuk mencapai penerapan yang lebih luas, perlu dilakukan penelitian lanjutan yang fokus pada uji ketahanan sistem dalam kondisi lingkungan yang lebih bervariasi, serta pengembangan sistem untuk mengatasi tantangan teknis yang mungkin muncul selama implementasi. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa sistem ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik industri lain, agar teknologi IoT dapat diadopsi lebih luas dalam pengelolaan kualitas air (Akter, 2024).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang efektif dalam memantau parameter pH dan *turbidity* di PT. Pola Kahuripan Inti Sawit. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sensor pH dan *turbidity* memberikan akurasi yang memadai, dengan MAPE masing-masing sebesar 2,20% dan 1,30%, menunjukkan bahwa kedua sensor dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas air secara *real-time*. Sistem berbasis IoT ini dapat menggantikan sistem manual yang kurang efisien, mempercepat deteksi perubahan kualitas air, dan meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi IoT dalam pengelolaan kualitas air industri dan membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai pengujian jangka panjang dan penerapan sensor di berbagai industri lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abai, N. H. Z. (2019). IoT based smart water reticulation monitoring system for leak detection. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(11), 389–396. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85078838938&origin=inward>
- Abdelmoez, M. N. (2024). A Standalone Sensing and Actuation IoT Solution for Water Management, Leakage Detection, and Localization Problems. *Water Conservation Science and Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00248-w>
- Abdulbaqi, A. G. (2024). Design and Implementation of IoT Based Rivers Monitoring System. *Ieej Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 19(4), 469–474. <https://doi.org/10.1002/tee.23992>
- Akter, T. (2024). IoT in Action: Design and Implementation of a Tank Water Monitoring System. *Proceedings 2024 2nd International Conference on Inventive Computing and Informatics Icici 2024*, 755–760. <https://doi.org/10.1109/ICICI62254.2024.00127>
- Alfonso, I. (2023). A model-based framework for IoT systems in wastewater treatment plants. *Journal of Object Technology*, 22(2). <https://doi.org/10.5381/jot.2023.22.2.a10>
- Alnajjar, K. A. (2023). Water Quality Monitoring System Based on the Internet of Things. *2023 IEEE 6th International Conference on Electrical Electronics and System Engineering Enhancing Technology Through Sustainability Engineering Iceese 2023*, 32–37. <https://doi.org/10.1109/ICEESE56169.2023.10278187>
- Anggraini, E. (2024). Design of a nodemcu-based system for monitoring and controlling the water quality of catfish tarp pond. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1419/1/012040>
- Aryotejo, G. (2024). Water quality monitoring with an early warning system for enhancing the shrimp aquaculture production. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 34(2), 1042–1051. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v34.i2.pp1042-1051>
- Bakhit, A. A. (2024). Design of a Low-cost IoT-based Biofloc Water Quality Monitoring System. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 114(1), 153–162. <https://doi.org/10.37934/aram.114.1.153162>
- Bo, L. (2021). Design and Implementation of An Experimental Platform for Online Monitoring of Mine Water Based on the Internet of Things. *Proceedings 2021 2nd International Conference on Electronics Communications and Information Technology Cecit 2021*, 437–442. <https://doi.org/10.1109/CECIT53797.2021.00083>

- Evan, F. (2023). IoT Architectural Design for Household Water Quality Control. *Proceedings of 2023 International Conference on Information Management and Technology Icimtech 2023*, 690–695. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech59029.2023.10278039>
- Firdaus, T. A. (2023). Designing and Implementing IoT-Based Water Quality Monitoring and Control System of a Pilot Scale Deep Flow Technique Aquaponics for Enhanced Crop-Fish Production. *E3s Web of Conferences*, 448. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344802031>
- Gunawan, D. (2018). Sistem Monitoring Distribusi Air Menggunakan Android Blynk. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*, 3(1).
- Irvin, D., Bach, S., Saziati, O., & Teknik, J. (2024). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR BOILER BERBASIS IoT PADA PABRIK KELAPA SAWIT DI PT. SASMITA BUMI WIJAYA. In *INTEGRATE: Industrial Engineering and Management System* (Vol. 8, Issue 1). <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/issue/view/2162-26->
- Krisma, A., Azhari, M., & Widagdo, P. (2019). Perbandingan Metode Double Exponential Smoothing Dan Triple Exponential Smoothing Dalam Parameter Tingkat Error Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Means Absolute Deviation (MAD). *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 4(2), 81–87.
- Liao, Y. H. (2025). ROVs Utilized in Communication and Remote Control Integration Technologies for Smart Ocean Aquaculture Monitoring Systems. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/jmse13071225>
- Makhtar, S. A. B. (2022). Design and Implementation of Real Time Approach for The Monitoring of Water Quality Parameters. *2022 12th IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics Iscaie 2022*, 311–316. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE54458.2022.9794553>
- Malik, P. K. (2023). Design and Implementation of a LoRa-Based Water Quality Monitoring System. *2023 3rd International Conference on Advancement in Electronics and Communication Engineering Aece 2023*, 120–124. <https://doi.org/10.1109/AECE59614.2023.10428618>
- Puviarasi, R. (2021). Design and Development of Smart Portable System for Underground Pipeline Leakage Monitoring Based on IoT. *Journal of Physics Conference Series*, 1964(6). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1964/6/062065>
- Selvaganesh, M. (2024). IoT Based Real-Time Prototype Design for Smart Aquaculture Ecosystem Monitoring Using ESP32. *2nd International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things Icoici 2024 Proceedings*, 303–310. <https://doi.org/10.1109/ICoICI62503.2024.10696610>
- Singh, J. (2023). Design of IOT Based Self Powered Smart WQMS using Filter Optimization with Efficient Sensor Node. *2023 International Conference on Communication Security and Artificial Intelligence Iccsai 2023*, 255–260.

<https://doi.org/10.1109/ICCSAI59793.2023.10421334>

- Somantri, N. T. (2023). Design of pH Control in a Wastewater Treatment System Using an ESP8266 Microcontroller Based on IoT Thingspeak. *Proceeding of 2023 17th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications Tssa 2023*. <https://doi.org/10.1109/TSSA59948.2023.10366940>
- Subha, C. (2022). Environmental Monitoring and Management. *Emerging Technologies and Applications for A Smart and Sustainable World*, 151–174. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85204631221&origin=inward>
- Syed, M. M. M. (2023). An IoT Intensive AI-integrated System for Optimized Surface Water Quality Profiling. *Proceedings of Jcsse 2023 20th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering*, 247–252. <https://doi.org/10.1109/JCSSE58229.2023.10202033>
- Yang, S. W. (2025). Design and Validation of a Real-Time Maintenance Monitoring System Using BIM and Digital Twin Integration. *Buildings*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/buildings15081312>