

M.W.A: SISTEM *MONITORING*, *WARNING*, DAN *ACTION* BERBASIS IOT DALAM PENGELOLAAN KUALITAS AIR TAMBAK UDANG

1st Zahra Bintang Pratiwi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
zbintang@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Azkiya Nafis Ikrimah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ikrimaazn@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Narita Balqis Ruwenna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
naritabalqis@student.telkomuniversity.ac.id

4th Fauzan Prayoga A. Tangoi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
fauzanprayoga@student.telkomuniversity.ac.id

5th Dharu Arseno, S.T., M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
darseno@telkomuniversity.ac.id

5th Harfan Hian Ryanu,
S.T., M.Eng.
The University Center of Excellence
for Intelligent Sensing-IoT
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
harfanhr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terhubung dengan aplikasi *mobile* untuk mengelola parameter kualitas air tambak. Sistem ini menggunakan sensor suhu, pH, oksigen terlarut/*Dissolved Oxygen* (DO), dan padatan terlarut/*Total Dissolved Solids* (TDS) yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, dengan data dikirim ke Firebase Database sebelum ditampilkan pada aplikasi. Aplikasi ini menyediakan pemantauan *real-time*, riwayat data, pemfilteran berdasarkan waktu dan alat, pengunduhan dalam format .csv, notifikasi peringatan dini, serta kontrol aerator untuk meningkatkan oksigen terlarut. Hasil implementasi menunjukkan akurasi sensor mencapai lebih dari 89% dan sistem mampu meningkatkan kadar oksigen terlarut hingga 6.202 mg/L, sesuai kebutuhan tambak udang. Aplikasi *mobile* terbukti efektif dalam menampilkan data kualitas air secara *real-time* dan menjalankan berbagai fitur yang mendukung pengelolaan tambak yang lebih efisien.

Kata kunci: Budidaya udang, *Internet of Things*, *Mobile Application*, *Real-Time Monitoring*.

I. PENDAHULUAN

Budidaya udang merupakan salah satu sektor perikanan utama di Indonesia, mengingat sumber daya laut yang melimpah. Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) menargetkan produksi udang akan mencapai 2 juta ton per tahun pada tahun 2024[1], sehingga peningkatan jumlah produksi mengharuskan petambak menyiapkan produk mereka dalam kondisi baik sebelum dipasarkan. Namun, tantangan terbesar yang dihadapi petambak udang adalah kegagalan panen, yang sebagian besar disebabkan oleh buruknya kualitas air tambak. Air yang kotor dapat mengurangi kadar oksigen, pakan berlebih yang mengendap memicu kerusakan lingkungan tambak, serta wabah penyakit yang menyerang udang. Sehingga, pengelolaan kualitas air pun menjadi salah satu kesulitan yang dihadapi oleh para

petambak udang. Saat ini, pemantauan kualitas air tambak masih dilakukan secara manual, yang memakan waktu dan tenaga.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT yang lebih efisien dan akurat. Sistem ini akan mencakup sensor untuk mengukur parameter penting seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan padatan terlarut, serta fitur peringatan dini dan tindakan untuk menjaga kualitas air. Dengan demikian, diharapkan sistem ini dapat membantu petambak dalam meningkatkan produktivitas dan mencegah kegagalan panen.

II. KAJIAN TEORI

Dalam perancangan sistem *monitoring*, *warning*, dan *action* berbasis IoT dalam pengelolaan kualitas air tambak udang, terdapat beberapa aspek yang menjadi dasar pengembangan sistem ini. Kajian teori ini akan membahas konsep-konsep fundamental yang mendukung implementasi sistem.

A. Parameter Kualitas Air Tambak Udang

Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 75/PERMEN-KP/2016 Tahun 2016 tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu (*Penaeus monodon*) dan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*), nilai rentang normal untuk masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kualitas Air Tambak Udang

No.	Parameter	Parameter		
		Tradisional	Intensif	Super Intensif
1.	pH	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5
2.	Suhu	28 - 32°C	28 - 30°C	28 - 30°C
3.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)/ Oksigen Terlarut	> 3 mg/l	> 4 mg/l	> 4 mg/l
4.	<i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)/ Padatan terlarut	150 – 200 ppm	-	-

B. Perangkat *Internet of Things* (IoT)

Arsitektur IoT terdiri atas 4 layer berbeda, di antaranya adalah *sensing layer*, *network layer*, *data processing layer*, dan *application layer*. *Sensing layer* merupakan lapisan pertama pada arsitektur IoT yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dari sumber yang berbeda. *Layer* ini dapat terdiri dari kumpulan sensor dan aktuator yang diletakkan pada sebuah lingkup pengamatan untuk mengumpulkan informasi seperti suhu, kelembaban, kecerahan, suara, dan parameter fisik lainnya[2]. Selain itu, terdapat sebuah mikrokontroler yang berperan sebagai otak sistem. Salah satu contoh mikrokontroler yang sering digunakan adalah ESP32. ESP32 merupakan *System on Chip* (SoC) mikrokontroler yang terintegrasi dengan Wi-Fi 802.11 b/g/n, *dual mode* Bluetooth versi 4.2, dan beberapa perangkat tambahan[3]. *Network layer* berfungsi untuk menyediakan jalur komunikasi dan konektivitas antarperangkat IoT. Teknologi jaringan yang sering digunakan untuk komunikasi perangkat IoT di antaranya adalah Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, dan jaringan seluler seperti 4G dan 5G. *Data processing layer* mengacu pada komponen *software* atau *hardware* yang bertanggung jawab untuk memproses dan menganalisis data yang telah dikumpulkan oleh perangkat IoT[2]. Salah satu contoh teknologi di *layer* ini adalah Firebase.

C. *Mobile Application*

Mobile application memiliki peran yang penting dalam menampilkan data-data yang telah terkumpul pada pusat data. Spesifikasi utama yang dibutuhkan pada *mobile application* yang digunakan untuk memantau kualitas air tambak adalah *real-time monitoring*, *warning system*, dan aktivasi aktuator.

D. *Quality of Service* (QoS)

Parameter *Quality of Service* (QoS) menjadi acuan untuk mengevaluasi performa jaringan, khususnya dalam mendukung sistem pemantauan *real-time*. Parameter QoS yang diuji adalah *delay* dan *jitter*. *Delay* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh data untuk proses transmisi dari pengirim ke penerima sedangkan *jitter* adalah variasi dalam waktu pengiriman paket data ke tujuan, atau fluktuasi latensi.

Parameter QoS mengacu pada standar ITU-T G.1010 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar ITU-T G.1010

Kategori	<i>Delay</i> (ms)	<i>Jitter</i> (ms)
Sangat Bagus	< 150	0
Bagus	150 s/d 300	0 s/d 75
Jelek	300 s/d 450	75 s/d 125
Sangat Jelek	> 450	>125

Berikut adalah rumus perhitungan parameter QoS:

$$Delay = \frac{Total\ Delay}{Jumlah\ Data} \quad (1)$$

$$Jitter = \frac{Total\ Variasi\ Delay}{Total\ Paket\ yang\ Diterima} \quad (2)$$

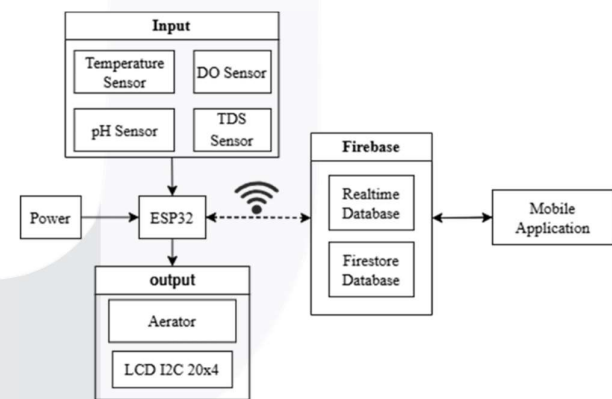
$$Total\ Variasi\ Delay = Delay - (rata - rata\ delay) \quad (3)$$

Persamaan (1) merupakan rumus perhitungan *delay*, persamaan (2) merupakan rumus perhitungan *jitter*, dan persamaan (3) merupakan rumus perhitungan total variasi *delay*.

III. METODE

Perancangan sistem M.W.A. meliputi desain sistem secara keseluruhan, detail komunikasi antarkomponen sistem, detail *wiring* perangkat IoT, cara kerja sistem, serta detail implementasi yang terdiri dari proses dan hasil kalibrasi sensor serta desain *user interface* (UI) dari *mobile application*.

A. Desain Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

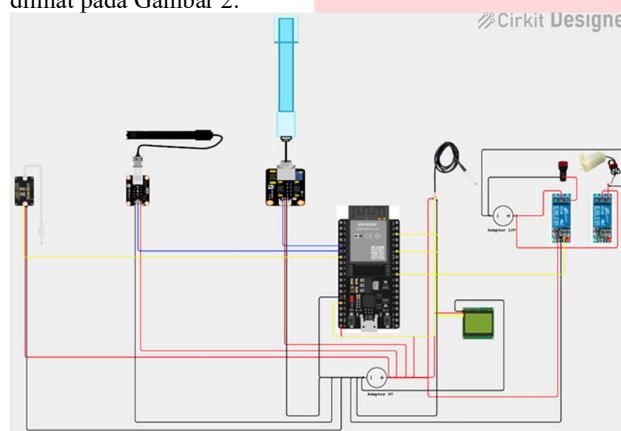
Berdasarkan Gambar 1, pemantauan kualitas air pada tambak udang, menggambarkan sistem yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, Firebase, dan *Mobile Application*. Sensor *monitoring* yang digunakan, yaitu sensor suhu, sensor pH, sensor DO, dan sensor TDS. Selain itu, ESP32 juga mengontrol aerator yang berfungsi meningkatkan kadar oksigen di tambak. Data dari sensor diproses dan dikirimkan ke Firebase yang terdiri dari Realtime Database untuk menyimpan data secara *real-time* dan Firestore Database untuk pengelolaan data riwayat.

Komunikasi dari perangkat IoT melalui Firebase Database ke *mobile application* dimulai dengan adaptor memberikan daya kepada ESP32. Kemudian ESP32 memberikan perintah kepada setiap sensor untuk mengumpulkan data. Data yang diperoleh dari sensor

kemudian dikirim ke Firebase Database. Untuk menampilkan data pada *mobile application* secara *real-time* yang berubah setiap 5 detik, maka data akan dikirim ke Firebase Realtime Database, sedangkan untuk menyimpan data setiap 10 menit, data akan dikirim ke Firebase Cloud Firestore. Data yang telah disimpan pada *database* tersebut akan dipanggil di *mobile application* untuk ditampilkan.

Komunikasi dari *mobile application* melalui Firebase Database ke perangkat IoT dimulai dengan mengubah status *switch* Aerator pada *mobile application* sesuai dengan kebutuhan penggunaan aerator. Ketika status *switch* diubah menjadi *on*, maka *value* kunci “aerator” pada Firebase Realtime Database akan berubah menjadi *true*, sedangkan jika status *switch* diubah menjadi *off*, maka *value* kunci “aerator” pada Firebase Realtime Database akan berubah menjadi *false*. Perubahan *value* tersebut akan dibaca oleh ESP32 untuk menentukan status aerator menyala atau mati.

Proses *wiring* seluruh komponen dari perangkat IoT dapat dilihat pada Gambar 2.



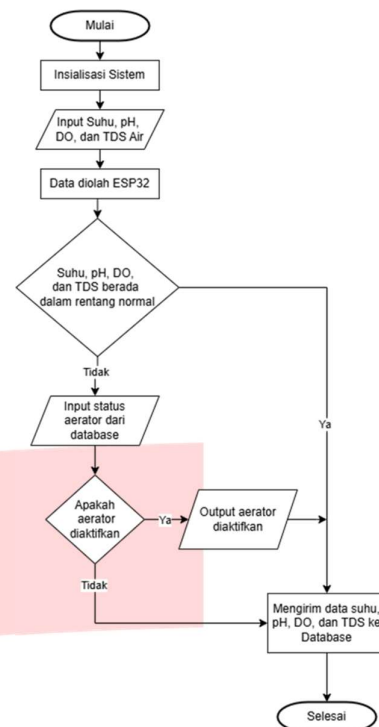
Gambar 2. Wiring Perangkat IoT

Mobile application berfungsi sebagai visualisasi data, dimana data yang sudah dikumpulkan di Firebase dari ESP32 akan ditampilkan untuk dipantau oleh pengguna. *Mobile Application* dirancang menggunakan Flutter sebagai *framework* dan Dart sebagai bahasa pemrogramannya. Hal ini dikarenakan Flutter bersifat *multiplatform*, Flutter memiliki kemampuan untuk membangun aplikasi dengan basis kode tunggal yang artinya tidak perlu menulis kode terpisah untuk setiap *platform*[4].

B. Cara Kerja Sistem

Alur kerja sistem digambarkan melalui *flowchart*. *Flowchart* sistem terbagi menjadi dua, yaitu *flowchart* perangkat IoT dan *flowchart mobile application*.

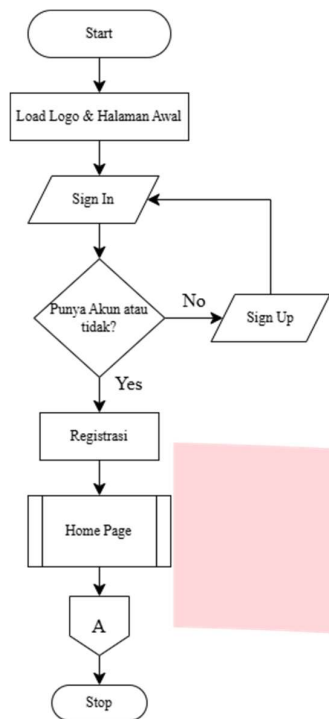
Alur kerja perangkat IoT ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Perangkat IoT

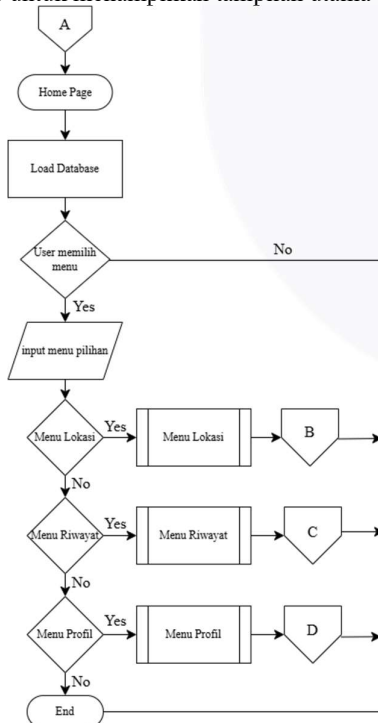
Proses kerja perangkat IoT dimulai dengan inisialisasi sistem yang mencakup konfigurasi awal perangkat dan aplikasi. Setelah itu, sensor mengumpulkan data suhu, pH, DO, dan TDS, yang kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP32 dengan membandingkannya terhadap rentang normal yang ditetapkan. Jika parameter berada dalam rentang normal, data langsung dikirim ke *database*. Namun, jika ada nilai di luar batas, sistem akan memeriksa status aerator di *database* untuk menentukan apakah perlu diaktifkan guna menjaga kualitas air. Setelah keputusan diambil, data akhir dikirim ke *database* untuk penyimpanan.

Alur kerja *mobile application* ditunjukkan oleh *flowchart* berikut ini:



Gambar 4. Flowchart Mobile Application

Gambar 4 menunjukkan alur program pada bagian awal sistem aplikasi yang dikembangkan. Sistem dimulai dari melakukan load logo aplikasi, lalu menuju halaman Sign In untuk melakukan *login*. Kemudian setelah *login* dengan akun yang telah terdaftar maka program melanjutkan ke menu registrasi untuk melakukan pemilihan jenis udang dan jenis tambak. Setelah itu, maka akan diarahkan ke menu Homepage untuk menampilkan tampilan utama aplikasi.



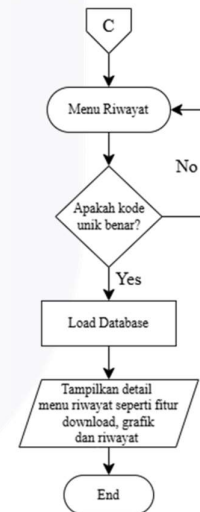
Gambar 5. Flowchart Halaman Utama

Dari Gambar 5 diatas, *Flowchart* tersebut menunjukkan proses cara kerja sistem pada halaman utama dari aplikasi yang telah dirancang. Setelah program masuk ke halaman utama, akan dilakukan *load database* untuk menampilkan data yang akan terbaca pada Homepage. Selanjutnya, aplikasi ini akan memeriksa apakah pengguna melakukan *input* terhadap pilihan menu yang telah disediakan pada aplikasi, yang mana jika tidak dilakukan input maka pengguna akan tetap di Homepage. Tetapi jika pengguna memilih menu, maka program akan mengecek dan mengarahkan pengguna menuju halaman yang dipilih dengan tampilan baru disetiap halamannya.



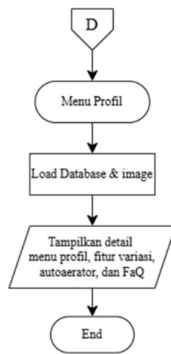
Gambar 6. Flowchart Menu Lokasi

Dari Gambar 6 diatas, proses program akan dilanjutkan untuk menampilkan menu lokasi. Pada halaman ini akan ditampilkan lokasi dari perangkat IoT yang terintegrasi.



Gambar 7. Flowchart Menu Riwayat

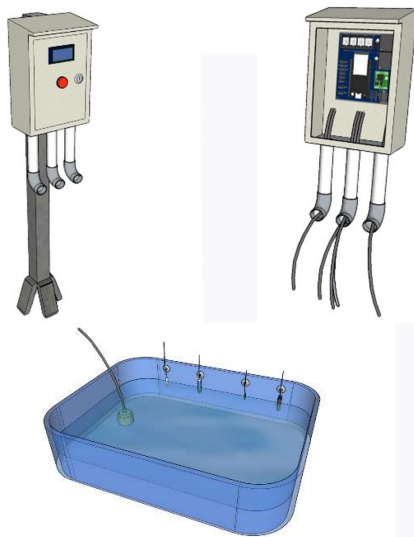
Dari Gambar 7 diatas, *Flowchart* tersebut menunjukkan proses jika pengguna memilih menu riwayat. Pada saat pengguna ingin mengakses menu riwayat akan muncul kode unik untuk mengakses halaman tersebut. Hal ini bertujuan agar hanya pemilik lah yang bisa melihat data riwayat yang terbaca. Saat kode unik benar maka pengguna dapat melihat riwayat data, grafik tren dari riwayat dan juga dapat mendownload data yang terbaca tersebut. Namun, jika kode unik salah maka pengguna tidak dapat melihat riwayat dan saat program membaca hal tersebut, pengguna hanya akan ditampilkan halaman *loading* saja.



Gambar 8. Flowchart Menu Profil

Dari Gambar 8 diatas, saat memilih halaman profil, maka program akan mengarahkan kehalaman profil. Program akan melakukan *load* data agar dapat menampilkan detail pengguna. Pada menu riwayat pun terdapat beberapa fitur antara lain, fitur *Frequently Asked Question* (FAQ) untuk mengetahui secara mendalam terkait aplikasi yang dikembangkan, terdapat juga fitur Aerator untuk mengontrol aerator, dan juga terdapat fitur variasi untuk mengubah jenis tambak dan jenis udang yang dibudidaya.

C. Detail Implementasi



Gambar 9. Desain 3D

Komponen pada produk ini akan ditempatkan didalam dan juga diluar kolam tambak seperti yang terdapat pada Gambar 9. Komponen yang berada didalam tambak atau air adalah komponen sensor untuk pengukuran, sedangkan komponen yang berada diluar tambak adalah perangkat IoT berupa ESP32, modul sensor dan alat lain yang tidak *water resistance* yang kemudian akan diletakkan didalam kotak agar terhindar dari paparan langsung sinar matahari dan hujan.

i. Detail Implementasi Perangkat IoT

Tabel 2 menunjukkan komponen sensor yang digunakan pada perangkat IoT dan spesifikasinya berdasarkan *datasheet*nya masing-masing[5][6][7][8].

Tabel 3. Spesifikasi Sensor

Komponen Sensor	Spesifikasi
Sensor Suhu	Tipe : DS18B20 Rentang pengukuran : -55°C - +125°C Akurasi : ±2°C
Sensor pH	Tipe : SEN0161 Rentang pengukuran : 0 – 14 Akurasi : ± 0.1 pH (25°C)
Sensor DO	Tipe : SEN0237 Rentang pengukuran : 0 – 20 mg/L
Sensor TDS	Tipe : SEN244 Rentang pengukuran : 0 – 1000 ppm Akurasi : ± 10%

Internet of Things (IoT) diimplementasikan dalam sistem M.W.A. dengan tujuan untuk memudahkan proses pemantauan dan kontrol berbagai perangkat secara otomatis demi menunjang kualitas air tambak udang. Sistem yang akurat memerlukan proses kalibrasi ketika perangkat saling berintegrasi. Berikut adalah hasil kalibrasi setiap sensor:

1. Sensor Suhu DS18B20

Kalibrasi sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan mengambil beberapa sampel data menggunakan termometer sebagai bantuan alat industri. Kemudian data yang diperoleh dibandingkan dan diukur tingkat akurasinya.

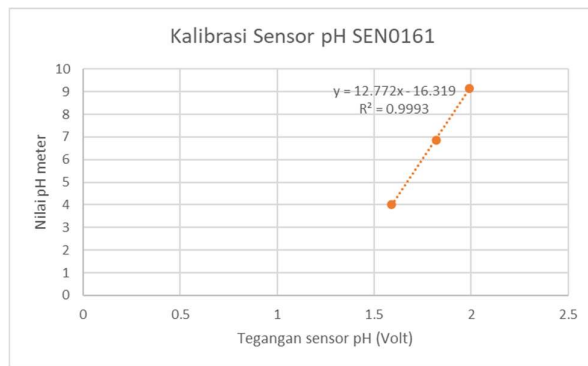
Tabel 4. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

No	Alat 1			Alat 2		
	Termometer (°C)	Sensor Suhu (°C)	Akurasi (%)	Termometer (°C)	Sensor Suhu (°C)	Akurasi (%)
1	8	8,1	98,77	8	8,2	97,56
2	10,1	10,19	99,12	10,1	10,32	97,87
3	23,7	23,69	99,96	23,7	23,5	99,15
4	26	26	100	26	25,4	97,64
5	29,9	29,6	98,99	29,9	28,75	96
6	34	34,2	99,42	34	34	100
7	50,2	49,38	98,34	50,2	50	99,6
Rata-rata Akurasi			99,23	Rata-rata Akurasi		98,26

Hasil pengujian sensor DS18B20 pada alat 1 mempunyai rata-rata tingkat akurasi sebesar 99.23% dan sensor DS18B20 pada alat 2 mempunyai rata-rata tingkat akurasi sebesar 98.26%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor suhu DS18B20 sudah cukup akurat tanpa perlu dikalibrasi ulang dalam hal membaca data dengan akurat. Hal ini dikarenakan sensor DS18B20 menggunakan *output* digital, berupa data suhu yang langsung tertampil tanpa ada penyesuaian tegangan pada pengujiannya.

2. Sensor pH SEN0161

Kalibrasi sensor pH SEN0161 dilakukan menggunakan alat pembanding industri, yaitu pH meter lalu dianalisis dengan regresi linear.



Gambar 10. Kalibrasi Sensor pH SEN0161

Kalibrasi yang digunakan yaitu dengan pendekatan regresi linear untuk meminimalkan selisih antara nilai hasil sensor pH SEN0161 dengan pH meter. Rumus yang diperoleh berdasarkan *scatter graph*, yaitu $y = 12.772x - 16.319$. Sedangkan nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0.9993 menunjukkan bahwa model regresi linear cukup baik dalam menjelaskan variabilitas data.

3. Sensor DO SEN0237

Kalibrasi sensor DO (*Dissolved Oxygen*) SEN0237 dilakukan menggunakan metode kalibrasi tunggal, yaitu mengkalibrasi oksigen terlarut jenuh pada suhu tetap.

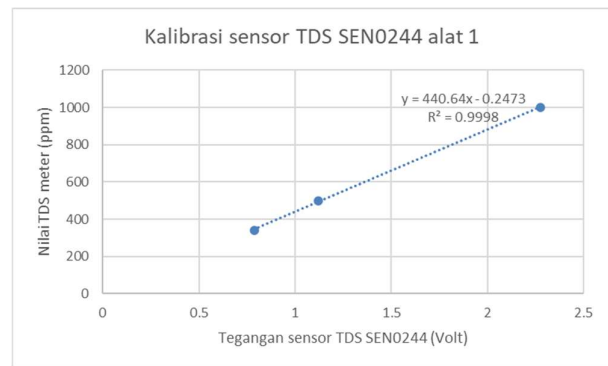
Tabel 5. Kalibrasi Sensor DO SEN0237

No	Voltage (mV)	Suhu (°C)	Voltage (mV)	Suhu (°C)
1	1031	37,8	838	14,5
2	1040	37,8	838	14,5
3	1033	37,8	824	14,5
4	1024	37,8	813	14,5
5	1005	37,8	834	14,5
6	1028	37,8	842	14,5
7	1000	37,8	855	14,5
8	1029	37,8	840	14,5
9	1022	37,8	836	14,5
10	1020	37,8	837	14,5
Rata-Rata	1023,2	37,8	835,7	14,5

Pengujian kalibrasi sensor DO SEN0237 pada Tabel 4.3 menggunakan air dengan suhu 37.8°C dan 14.5°C. Data pengujian kalibrasi ini diambil sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung rata-rata yang kemudian rata-rata tegangan ini dimasukkan ke kode pemrograman Arduino IDE. Setelah melakukan pengujian sebanyak 10 kali, dihasilkan tegangan *output* rata-rata sebesar 1023.2 mV pada suhu 37.8°C dan 835.7 mV pada suhu 14.5°C.

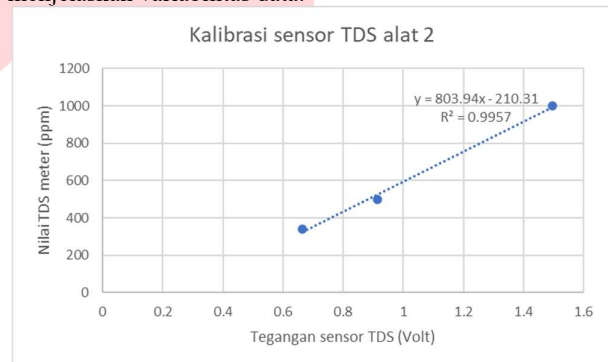
4. Sensor TDS SEN0244

Kalibrasi sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) SEN0244 dilakukan menggunakan alat pembanding industri, yaitu TDS meter lalu dianalisis dengan regresi linear.



Gambar 11. Kalibrasi Sensor TDS SEN0244 Alat 1

Kalibrasi yang digunakan yaitu dengan pendekatan regresi linear untuk meminimalkan selisih antara nilai hasil sensor TDS dengan TDS meter. Rumus yang diperoleh berdasarkan *scatter graph*, yaitu $y = 440.64x - 0.2473$. Sedangkan nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0.9998 menunjukkan bahwa model regresi linear sangat baik dalam menjelaskan variabilitas data.



Gambar 12. Kalibrasi Sensor TDS SEN0244 Alat 2

Kalibrasi yang digunakan yaitu dengan pendekatan regresi linear untuk meminimalkan selisih antara nilai hasil sensor TDS dengan TDS meter. Rumus yang diperoleh berdasarkan *scatter graph*, yaitu $y = 803.94x - 210.31$. Sedangkan nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0,9957 menunjukkan bahwa model regresi linear sangat baik dalam menjelaskan variabilitas data.

ii. Detail Implementasi *Database*

Dalam sistem M.W.A data yang dikumpulkan oleh sensor akan ditampilkan secara *real-time* pada *mobile application*, kemudian data tersebut akan disimpan setiap 10 menit untuk ditampilkan pada menu riwayat data agar dapat difilter berdasarkan rentang waktu yang dipilih untuk membuat grafik data masing-masing parameter kualitas air. Untuk memenuhi fitur tersebut *platform* yang digunakan adalah Firebase Database.

1. Firebase Authentication

Firebase Authentication dalam sistem M.W.A. digunakan untuk mendukung *email* dan *password login* dan Google Sign-In. Hal ini berfungsi sebagai identifikasi dan verifikasi pengguna secara unik dan memastikan bahwa hanya pengguna sah yang dapat mengakses sistem.

2. Firebase Realtime Database

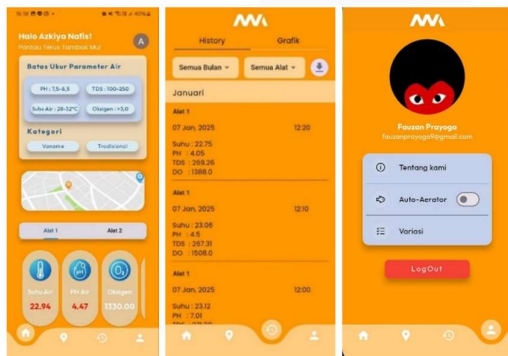
Realtime Database berguna untuk menyimpan dan menyinkronisasi data secara *real-time* antara data yang terbaca pada *serial monitor* Arduino dan *mobile application*. Dalam sistem M.W.A., perangkat IoT akan mengirimkan data yang dikumpulkan oleh sensor ke Realtime Database setiap 5 detik.

3. Cloud Firestore

Pada Firestore Database, data akan disimpan di dalam sebuah *collection* yang terdiri atas *document* dengan *field* yang memiliki berbagai tipe data. *Collection* untuk sistem M.W.A diberi nama “Alat1” dengan *document* bernama “Sensor” yang disertai penomoran secara *incremental*. *Field* yang terdapat pada setiap *document* terdiri atas data yang dikumpulkan oleh sensor DO, TDS, pH, dan *temperature* dengan tipe *number*, waktu pengambilan data dicatat menggunakan tipe *timestamp*, dan lokasi alat disimpan pada *location* menggunakan tipe *geopoint*.

iii. Detail Implementasi Mobile Application

Pada aplikasi sistem M.W.A ini digunakan sebagai *platform* pemantau dan pengontrol kualitas air untuk memudahkan petambak dalam memantau kondisi udang. Cara kerja aplikasi ini saat ESP32 telah menerima data pembacaan dari berbagai sensor kemudian dikirimkan ke Firebase untuk diolah datanya. Setelah data diolah, data akan dipanggil untuk ditampilkan pada aplikasi sesuai olahan yang diinginkan, yaitu memanggil Firebase Realtime Database untuk nilai realtime dan Firestore Database untuk nilai yang disimpan pada *history*.



Gambar 13. Halaman Utama Aplikasi

Pada gambar 13 menunjukkan halaman utama yang menampilkan nilai batas ukur parameter sesuai dengan jenis tambak dan udang yang dipilih. Kemudian dalam halaman yang sama, terdapat hasil pembacaan sensor yang berguna untuk memonitoring kualitas air, nilai ini dipanggil dari Firebase Realtime Database. Jika angka yang ditampilkan berwarna merah, menandakan bahwa nilai berada diluar batas yang telah ditentukan. Kemudian pada gambar kedua menampilkan halaman riwayat yang mana nilai didapatkan dari Firestore Database yang mana nilai telah diatur untuk disimpan tiap 10 menit. Kemudian pada gambar ketiga menampilkan halaman profil yang menampilkan beberapa fitur terkait info aplikasi, Aerator yang berfungsi untuk menyalakan dan mematikan aerator, dan variasi untuk mengganti pengaturan jenis tambak dan udang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skenario Pengujian

Pengujian perangkat IoT dilakukan untuk memastikan sensor suhu, sensor pH, sensor TDS, dan Sensor DO, berfungsi dengan baik serta sesuai dengan standar kualitas air tambak. Keakuratan data diuji menggunakan alat industri seperti termometer, pH meter, TDS meter, dan DO *analyzer*, sementara kontroler aerator diuji bersama sensor DO untuk menilai peningkatan oksigen terlarut. Pengujian dilakukan secara *real-time* selama satu hari di laboratorium. Selain itu, pengujian aplikasi MWA System bertujuan memastikan kelancaran aliran data antara sistem dan aplikasi melalui pengujian tampilan data, notifikasi peringatan dini, Black Box Testing, dan pengukuran *delay*. Data diuji dengan mengubah nilai sensor, sementara notifikasi diuji dengan memasukkan parameter di luar batas agar sistem dapat memberikan peringatan. Black Box Testing dilakukan untuk mengevaluasi fungsi fitur aplikasi, dan pengukuran *delay* menilai responsivitas sistem dalam menampilkan data.

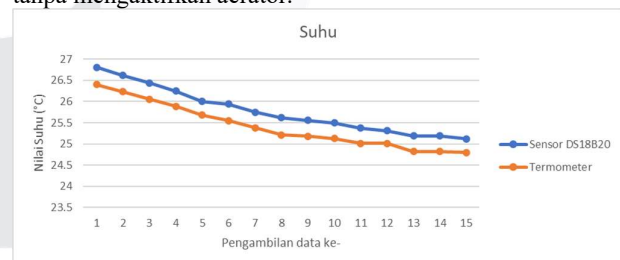
B. Hasil Pengujian dan Analisis

i. Pengujian Perangkat IoT dan Analisa Hasil Pengujiannya

Pengujian dilakukan secara *real-time* dengan interval setiap 5 detik dan pengunggahan data ke Firestore dilakukan setiap 10 menit. Dalam rentang waktu pengujian, didapatkan 15 data sensor. Dilakukan dua pengujian, yaitu pengujian tanpa mengaktifkan aerator dan pengujian dengan mengaktifkan aerator. Tujuan diaktifikannya aerator adalah untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Sebagai pembanding lokasi alat, sensor suhu dan sensor TDS terdiri dari dua alat yang akan diuji. Tingkat akurasi dihitung untuk mengetahui apakah pengujian sensor telah memenuhi hasil kalibrasi. Berikut adalah hasil pengujian masing-masing sensor:

a. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

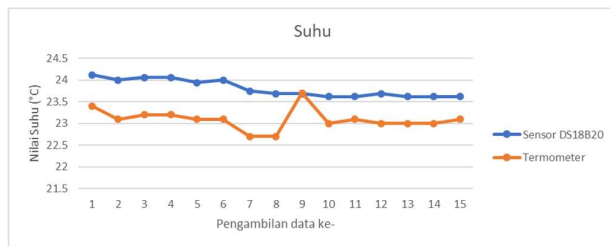
Gambar 14 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian tanpa mengaktifkan aerator.



Gambar 14. Hasil Pengukuran Suhu tanpa Aerator

Pada pengujian pertama hasil parameter suhu menurun seiring berjalannya waktu dengan suhu tertinggi berada pada data ke-1 yaitu 26,81°C dan suhu terendah berada pada data ke-15, yaitu 25,12°C.

Gambar 15 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dengan mengaktifkan aerator.



Gambar 15. Hasil Pengukuran Suhu dengan Aerator

Pada pengujian kedua hasil parameter suhu mengalami penaikan dan penurunan dengan nilai suhu tertinggi berada pada data ke-1 yaitu 24,1°C dan nilai suhu terendah berada pada data ke-10, 11, 13, 14, dan 15 yaitu 23,6°C.

Tabel 6. Perbandingan hasil pengukuran suhu tanpa menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter Suhu (°C)		Selisih Pengukuran (°C)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor DS18B20	Termometer			
1	26,81	26,4	0,41	1,55	98,45
2	26,62	26,23	0,39	1,49	98,51
3	26,44	26,06	0,38	1,46	98,54
4	26,25	25,89	0,36	1,39	98,61
5	26	25,68	0,32	1,25	98,75
6	25,94	25,55	0,39	1,53	98,47
7	25,75	25,38	0,37	1,46	98,54
8	25,62	25,21	0,41	1,63	98,37
9	25,56	25,18	0,38	1,51	98,49
10	25,5	25,13	0,37	1,47	98,53
11	25,37	25,01	0,36	1,44	98,56
12	25,31	25,01	0,3	1,20	98,80
13	25,19	24,82	0,37	1,49	98,51
14	25,19	24,82	0,37	1,49	98,51
15	25,12	24,8	0,32	1,29	98,71
Rata-rata	25,78	25,41	0,37	1,44	98,56

Tabel 6 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor DS18B20 dengan termometer untuk parameter suhu pada pengujian pertama. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai suhu oleh sensor DS18B20 adalah sebesar 25,78°C dan rata-rata nilai suhu oleh termometer adalah 25,41°C. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 98,56%. Besarnya nilai akurasi menunjukkan bahwa pembacaan nilai suhu oleh sensor DS18B20 dibandingkan dengan termometer hampir mendekati sempurna dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,37°C.

Tabel 7. Perbandingan hasil pengukuran suhu menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter Suhu (°C)		Selisih Pengukuran (°C)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor DS18B20	Termometer			
1	24,12	23,4	0,72	3,08	96,92
2	24	23,1	0,9	3,90	96,10
3	24,06	23,2	0,86	3,71	96,29
4	24,06	23,2	0,86	3,71	96,29
5	23,94	23,1	0,84	3,64	96,36
6	24	23,1	0,9	3,90	96,10
7	23,75	22,7	1,05	4,63	95,37
8	23,69	22,7	0,99	4,36	95,64
9	23,69	23,7	0,01	0,04	99,96
10	23,62	23	0,62	2,70	97,30
11	23,62	23,1	0,52	2,25	97,75
12	23,69	23	0,69	3,00	97,00
13	23,62	23	0,62	2,70	97,30
14	23,62	23	0,62	2,70	97,30
15	23,62	23,1	0,52	2,25	97,75
Rata-rata	23,81	23,09	0,71	3,10	96,90

Tabel 7 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor DS18B20 dengan termometer untuk parameter suhu pada pengujian kedua. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai suhu oleh sensor DS18B20 adalah sebesar 23,81°C dan rata-rata nilai suhu oleh termometer adalah 23,09°C. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 96,9%. Besarnya nilai akurasi menunjukkan bahwa pembacaan nilai suhu oleh sensor DS18B20 dibandingkan dengan termometer hampir mendekati sempurna dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,71°C.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan sensor suhu dengan dan tanpa aerator, dapat disimpulkan bahwa penggunaan aerator tidak mempengaruhi perubahan nilai suhu secara signifikan.

b. Pengujian Sensor pH SEN0161

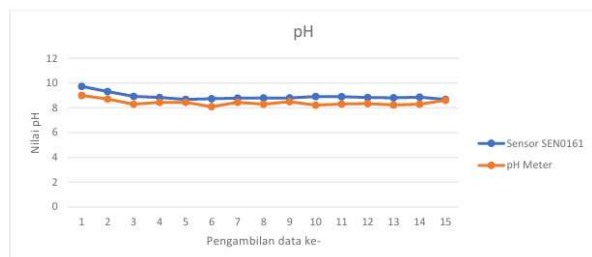
Gambar 16 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian tanpa mengaktifkan aerator.



Gambar 16. Hasil pengukuran pH tanpa menggunakan aerator.

Pada pengujian pertama hasil parameter pH mengalami penaikan dan penurunan dengan nilai pH tertinggi berada pada data ke-13 dan 14 yaitu 8,16 dan nilai pH terendah berada pada data ke-1 yaitu 8,04.

Gambar 17 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dengan mengaktifkan aerator.



Gambar 17. Hasil pengukuran pH dengan menggunakan aerator.

Pada pengujian kedua hasil parameter pH cenderung tidak mengalami perubahan yang besar dengan nilai pH tertinggi berada pada data ke-1 yaitu 9,73 dan nilai pH terendah berada pada data ke-15 yaitu 8,61.

Tabel 8. Perbandingan hasil pengukuran pH tanpa menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter pH		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0161	pH Meter			
1	8,04	7,86	0,18	2,29	97,71
2	8,11	7,84	0,27	3,44	96,56
3	8,08	7,44	0,64	8,60	91,40
4	8,07	7,44	0,63	8,47	91,53
5	8,09	7,54	0,55	7,29	92,71
6	8,08	7,55	0,53	7,02	92,98
7	8,07	7,45	0,62	8,32	91,68
8	8,11	7,43	0,68	9,15	90,85
9	8,11	7,43	0,68	9,15	90,85
10	8,1	7,44	0,66	8,87	91,13
11	8,11	7,42	0,69	9,30	90,70
12	8,11	7,42	0,69	9,30	90,70
13	8,16	7,51	0,65	8,66	91,34
14	8,16	7,52	0,64	8,51	91,49
15	8,11	7,44	0,67	9,01	90,99
Rata-rata	8,10	7,52	0,59	7,83	92,17

Tabel 8 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor SEN0161 dengan pH meter untuk parameter pH dalam pengujian pertama. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai pH oleh sensor SEN0161 adalah sebesar 8,10 dan rata-rata nilai pH oleh pH meter adalah 7,52. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 92,17%. Besarnya nilai akurasi menunjukkan bahwa pembacaan nilai pH oleh sensor SEN0161 dibandingkan dengan pH meter mendekati sempurna dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,59.

Tabel 9. Perbandingan hasil pengukuran pH menggunakan aerator.

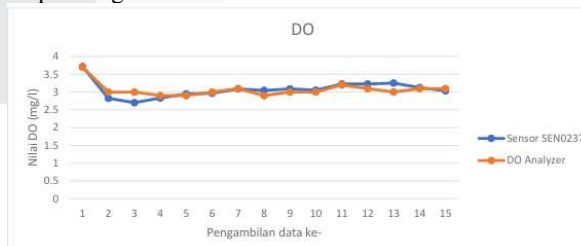
Pengambilan data ke-	Nilai Parameter pH		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0161	pH Meter			
1	9,73	9	0,73	8,11	91,89
2	9,32	8,71	0,61	7,00	93,00
3	8,92	8,3	0,62	7,47	92,53
4	8,83	8,44	0,39	4,62	95,38
5	8,68	8,44	0,24	2,84	97,16
6	8,73	8,09	0,64	7,91	92,09
7	8,78	8,45	0,33	3,91	96,09
8	8,8	8,3	0,5	6,02	93,98
9	8,8	8,5	0,3	3,53	96,47
10	8,91	8,22	0,69	8,39	91,61
11	8,9	8,31	0,59	7,10	92,90
12	8,83	8,35	0,48	5,75	94,25
13	8,81	8,23	0,58	7,05	92,95
14	8,86	8,29	0,57	6,88	93,12
15	8,68	8,61	0,07	0,81	99,19
Rata-rata	8,91	8,42	0,49	5,83	94,17

Tabel 9 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor SEN0161 dengan pH meter untuk parameter pH dalam pengujian kedua. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai pH oleh sensor SEN0161 adalah sebesar 8,91 dan rata-rata nilai pH oleh pH meter adalah 8,42. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 94,17%. Besarnya nilai akurasi menunjukkan bahwa pembacaan nilai pH oleh sensor SEN0161 dibandingkan dengan pH meter lebih mendekati sempurna dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,49.

Nilai pH meningkat pada pengujian kedua, penyebabnya dapat berasal dari reaksi elektrokimia yang terjadi pada sensor berupa berkurangnya kadar karbondioksida (CO₂) akibat aerasi oleh aerator, sehingga konsentrasi ion H⁺ menurun. Sirkulasi air dari aerator juga dapat mengurangi efek *dead zone*, karena ketika aerator diaktifkan, air menjadi lebih homogen, dan sensor membaca nilai pH yang lebih representatif.

c. Pengujian Sensor DO SEN0237

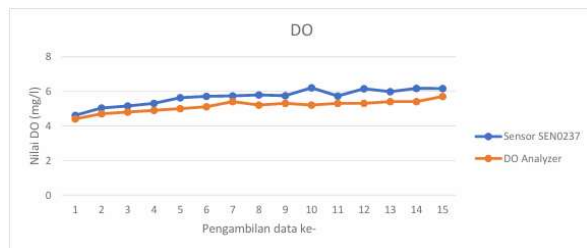
Gambar 18 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian tanpa mengaktifkan aerator.



Gambar 18. Hasil pengukuran DO tanpa menggunakan aerator.

Pada pengujian pertama hasil parameter DO tidak mengalami perubahan yang besar. Nilai DO tertinggi berada pada data ke-1, yaitu 3,718 mg/L dan nilai DO terendah berada pada data ke-3, yaitu 2,703 mg/L.

Gambar 19 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dengan mengaktifkan aerator.



Gambar 19. Hasil pengukuran DO dengan menggunakan aerator.

Pada pengujian kedua hasil parameter DO mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu dengan nilai DO tertinggi berada pada data ke-10 yaitu 6,202 mg/L dan nilai DO terendah berada pada data ke-1 yaitu 4,61 mg/L.

Tabel 10. Perbandingan hasil pengukuran DO tanpa menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter DO (mg/L)		Selisih Pengukuran (mg/L)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0237	DO Analyzer			
1	3,718	3,7	0,018	0,49	99,51
2	2,825	3	0,175	5,83	94,17
3	2,703	3	0,297	9,90	90,10
4	2,834	2,9	0,066	2,28	97,72
5	2,948	2,9	0,048	1,66	98,34
6	2,965	3	0,035	1,17	98,83
7	3,088	3,1	0,012	0,39	99,61
8	3,044	2,9	0,144	4,97	95,03
9	3,088	3	0,088	2,93	97,07
10	3,053	3	0,053	1,77	98,23
11	3,228	3,2	0,028	0,88	99,13
12	3,228	3,1	0,128	4,13	95,87
13	3,254	3	0,254	8,47	91,53
14	3,123	3,1	0,023	0,74	99,26
15	3,035	3,1	0,065	2,10	97,90
Rata-rata	3,08	3,07	0,10	3,18	96,82

Tabel 10 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor DO DSEN0237 dengan DO analyzer untuk parameter DO (Dissolved Oxygen) pada pengujian pertama. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai DO oleh sensor SEN0237 adalah sebesar 3,08 mg/L dan rata-rata nilai DO oleh DO analyzer adalah 3,07 mg/L. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 96,82% dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,1 mg/L. Pengujian ini dapat dikatakan akurat karena presentasi error yang sangat kecil, yaitu 3,18%.

Tabel 11. Perbandingan hasil DO dengan menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter DO (mg/L)		Selisih Pengukuran (mg/L)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0237	DO Analyzer			
1	4,61	4,4	0,21	4,77	95,23
2	5,03	4,7	0,33	7,02	92,98
3	5,152	4,8	0,352	7,33	92,67
4	5,301	4,9	0,401	8,18	91,82
5	5,625	5	0,625	12,50	87,50
6	5,712	5,1	0,612	12,00	88,00
7	5,739	5,4	0,339	6,28	93,72
8	5,791	5,2	0,591	11,37	88,63
9	5,747	5,3	0,447	8,43	91,57
10	6,202	5,2	1,002	19,27	80,73
11	5,73	5,3	0,43	8,11	91,89
12	6,15	5,3	0,85	16,04	83,96
13	5,975	5,4	0,575	10,65	89,35
14	6,167	5,4	0,767	14,20	85,80
15	6,159	5,7	0,459	8,05	91,95
Rata-rata	5,67	5,14	0,53	10,28	89,72

Tabel 11 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor DO DSEN0237 dengan DO analyzer untuk parameter DO (Dissolved Oxygen) pada pengujian kedua. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai DO oleh sensor SEN0237 adalah sebesar 5,67 mg/L dan rata-rata nilai DO oleh DO analyzer adalah 5,14 mg/L. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 89,72% dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,53 mg/L.

Penggunaan aerator terbukti dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Dapat dilihat pada peningkatan nilai DO ketika tidak mengaktifkan aerator sebesar

d. Pengujian Sensor TDS SEN0244

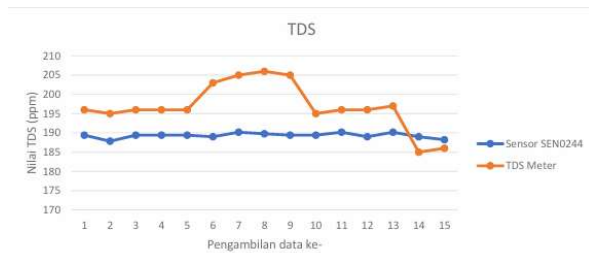
Gambar 20 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian tanpa mengaktifkan aerator.



Gambar 20. Hasil pengukuran TDS tanpa menggunakan aerator.

Pada pengujian pertama hasil parameter TDS mengalami penaikan dan penurunan dengan nilai TDS tertinggi berada pada data ke-1 dan 2, yaitu 184,32 ppm dan nilai TDS terendah berada pada data ke-7, yaitu 178,48 ppm.

Gambar 21 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dengan mengaktifkan aerator.



Gambar 21. Hasil pengukuran TDS menggunakan aerator.

Pada pengujian kedua parameter TDS cenderung stabil dengan nilai TDS tertinggi berada pada data ke-7, 11, 13, dan 18 yaitu 190,17 ppm dan nilai TDS terendah berada pada data ke-2 yaitu 187,83 ppm.

Pada pengujian parameter TDS menghasilkan nilai TDS tertinggi berada pada data ke-14, yaitu 231,98 ppm dan nilai TDS terendah berada pada data ke-9 yaitu 227,37 ppm.

Tabel 12. Perbandingan hasil pengukuran TDS tanpa menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter TDS (ppm)		Selisih Pengukuran (ppm)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0244	TDS Meter			
1	184,32	195	10,68	5,48	94,52
2	184,32	194	9,68	4,99	95,01
3	181,99	190	8,01	4,22	95,78
4	183,16	195	11,84	6,07	93,93
5	179,65	187	7,35	3,93	96,07
6	181,21	193	11,79	6,11	93,89
7	178,48	189	10,52	5,57	94,43
8	181,21	193	11,79	6,11	93,89
9	182,38	192	9,62	5,01	94,99
10	182,38	206	23,62	11,47	88,53
11	181,21	203	21,79	10,73	89,27
12	179,65	206	26,35	12,79	87,21
13	181,6	211	29,4	13,93	86,07
14	182,38	201	18,62	9,26	90,74
15	180,82	202	21,18	10,49	89,51
Rata-rata	182,24	197,13	15,48	7,74	92,26

Tabel 12 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor SEN0244 dengan TDS meter untuk parameter TDS pada pengujian pertama. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai TDS oleh sensor SEN0244 adalah sebesar 182,24 ppm dan rata-rata nilai TDS oleh

TDS meter adalah 197,13 ppm. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 92,26% dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 15,48.

Tabel 13. Perbandingan hasil pengukuran TDS menggunakan aerator.

Pengambilan data ke-	Nilai Parameter TDS (ppm)		Selisih Pengukuran (ppm)	Persentase Error (%)	Akurasi (%)
	Sensor SEN0244	TDS Meter			
1	189,39	196	6,61	3,37	96,63
2	187,83	195	7,17	3,68	96,32
3	189,39	196	6,61	3,37	96,63
4	189,39	196	6,61	3,37	96,63
5	189,39	196	6,61	3,37	96,63
6	189	203	14	6,90	93,10
7	190,17	205	14,83	7,23	92,77
8	189,78	206	16,22	7,87	92,13
9	189,39	205	15,61	7,61	92,39
10	189,39	195	5,61	2,88	97,12
11	190,17	196	5,83	2,97	97,03
12	189	196	7	3,57	96,43
13	190,17	197	6,83	3,47	96,53
14	189	185	4	2,16	97,84
15	188,22	186	2,22	1,19	98,81
Rata-rata	189,31	196,87	8,38	4,20	95,80

Tabel 13 menunjukkan selisih pengukuran antara sensor SEN0244 dengan TDS meter untuk parameter TDS pada pengujian pertama. Dari 15 data, didapatkan rata-rata nilai TDS oleh sensor SEN0244 adalah sebesar 189,31 ppm dan rata-rata nilai TDS oleh TDS meter adalah 196,87 ppm. Akurasi pengukuran rata-rata bernilai 95,80% dengan rata-rata selisih pengukuran sebesar 8,38.

Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan aerator tidak mempengaruhi kadar padatan terlarut dalam air karena tidak terjadi perubahan nilai TDS yang signifikan dari pengujian pertama ke pengujian kedua.

ii. Pengujian *Mobile Application* dan Analisa Hasil Pengujiannya

Proses pengujian *mobile application* melibatkan beberapa aspek, seperti pengujian menampilkan data *real-time*, riwayat data dan grafik, pengunduhan data riwayat, notifikasi peringatan, pengunduhan data, *Black Box Testing*, *SpeedTest*, dan pengukuran *delay* serta *jitter* menggunakan *software* Wireshark.

a. Aplikasi Dapat Menampilkan Data *Real-time*

Pada Pengujian ini bertujuan untuk menguji data *real-time* yang dikirim dari Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada halaman utama aplikasi.

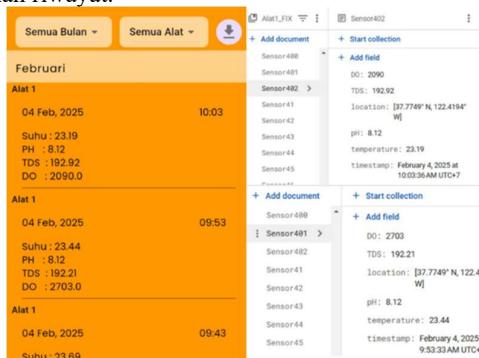


Gambar 22. Pengujian Real-Time Monitoring

Dapat dilihat pada Gambar 22 pengujian ini dilakukan dengan membandingkan tampilan pada LCD dan *mobile application*. Hasil menunjukkan angka yang sama yang membuktikan bahwa data yang ditampilkan dengan data yang terbaca sama secara *real-time*. Maka pengujian ini berhasil.

b. Aplikasi Dapat Menampilkan Riwayat Data

Pada pengujian ini bertujuan untuk menguji data yang telah diolah pada Firestore Database dan ditampilkan pada halaman riwayat.

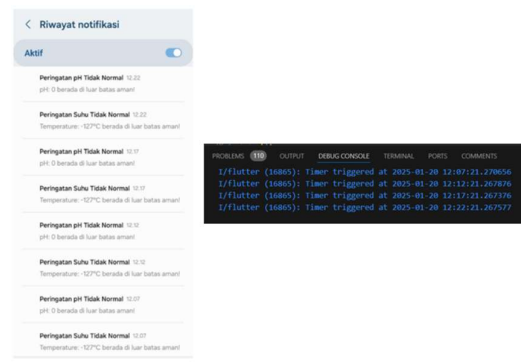


Gambar 23. Pengujian Riwayat Data

Pada Gambar 23 pengujian dilakukan dengan melakukan perbandingan data yang muncul pada halaman riwayat dengan yang ada di Firestore Database. Hasil menunjukkan kesamaan dari data yang masuk dengan data yang ditampilkan. Maka pengujian ini berhasil.

c. Aplikasi Dapat Menampilkan Notifikasi Peringatan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menampilkan notifikasi ketika nilai pembacaan sensor yang ditampilkan pada aplikasi berada pada rentang parameter yang telah ditentukan.



Gambar 24. Pengujian Notifikasi

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan *debug console* pada aplikasi VS Code dengan riwayat notifikasi pada perangkat *smartphone* yang digunakan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 24. Hasil nya menunjukkan waktu notifikasi dibuat dengan yang ditampilkan pada aplikasi sama. Hal ini menandakan tidak adanya *delay* dalam munculnya notifikasi. Sehingga pengujian ini berhasil.

d. Pengujian Aplikasi Menggunakan Wireshark

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan *smartphone* dengan jaringan Wi-Fi yang sama dengan laptop yang menjalankan *software* Wireshark. *Capture packet* dimulai dengan menjalankan aplikasi MWA System, setelah itu data yang dihasilkan dianalisis dan dilakukan perhitungan *delay* dan *jitter*.

Pengambilan data dilakukan selama 6 menit 33 detik dengan menghasilkan paket yang diterima sebanyak 168 paket.

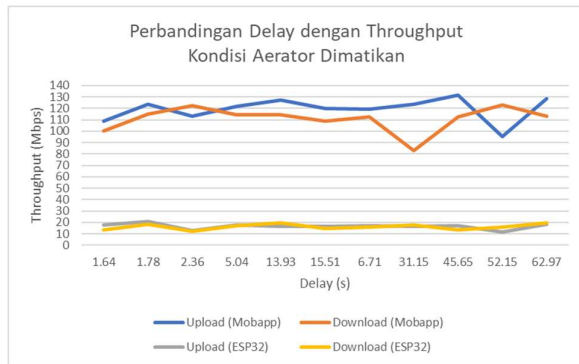
Hasil dari pengujian QoS (*delay* dan *jitter*) menggunakan *software* Wireshark saat menjalankan aplikasi MWA System dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Pengujian QoS

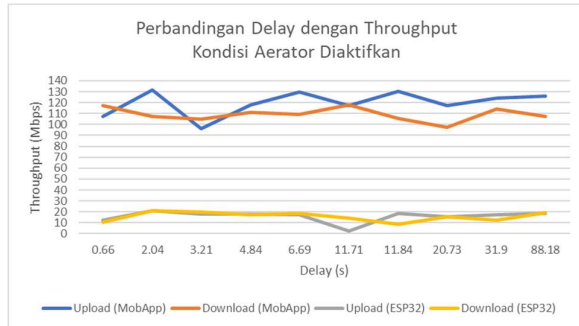
Parameter	Hasil (ms)	Kategori
<i>Delay</i>	2,23	Sangat Bagus
<i>Jitter</i>	5,1	Bagus

Dari data yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa pengujian QoS dalam parameter *delay* dan *jitter* cukup memuaskan. Protokol yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu protokol TCP dan TLSv1.2. Protokol TCP berfungsi untuk mentransmisikan data pada jaringan berbasis IP, sedangkan protokol TLSv1.2 bertujuan untuk memastikan komunikasi yang aman dan terenkripsi melalui jaringan komputer.

e. Perbandingan Throughput dan *Delay* Aktivasi Aerator melalui SpeedTest



Gambar 25. Hasil SpeedTest ketika Aerator dimatikan



Gambar 26. Hasil SpeedTest ketika Aerator diaktifkan

Berdasarkan hasil *SpeedTest* yang ditunjukkan oleh Gambar 25 dan Gambar 26 menggunakan *website* <https://www.cbn.id/speed-test>, besarnya *delay* ketika mengaktifkan dan mematikan aerator lebih dipengaruhi oleh performa jaringan *mobile hotspot* yang digunakan oleh ESP32 dibandingkan dengan *mobile application* karena nilai *throughput* pada jaringan yang dipakai oleh ESP32 lebih rendah.

V. KESIMPULAN

Sistem *Monitoring*, *Warning*, dan *Action* berbasis IoT untuk pengelolaan kualitas air tambak udang telah berhasil dikembangkan dengan kemampuan memantau parameter kualitas air secara *real-time*, memberikan peringatan dini, serta mengaktifkan aerator secara manual melalui kendali mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan Firebase Database. Pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu, pH, *Dissolved Oxygen* (DO), dan *total dissolved solid* (TDS) memiliki tingkat akurasi tinggi, baik saat aerator diaktifkan maupun tidak, dengan data dikirim ke Firebase Realtime

Database setiap 5 detik dan disimpan ke Cloud Firestore setiap 10 menit. *Mobile application* yang dikembangkan mampu menampilkan data *real-time*, menyediakan riwayat data dengan fitur filter dan visualisasi tren, mendukung pengunduhan data dalam format .csv, memberikan notifikasi peringatan jika parameter melebihi batas normal, serta mengontrol aerator secara manual. Sistem ini berpotensi meningkatkan efektivitas pengelolaan tambak udang di Indonesia, namun masih perlu pengujian lebih lanjut di lingkungan tambak sesungguhnya untuk menganalisis pengaruh kondisi nyata serta penyempurnaan pada *mobile application* guna memastikan performa optimal.

REFERENSI

- [1] M. Ambari, "Target Produksi Udang 2024 dan Masalah Dasar Perikanan Budi daya," Mongabay. Accessed: Mar. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.mongabay.co.id/2022/01/04/target-produksi-udang-2024-dan-masalah-dasar-perikanan-budi-daya/>
- [2] geeksforgeeks, "Architecture of Internet of Things (IoT)," geeksforgeeks. Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/architecture-of-internet-of-things-iot/>
- [3] B. Marek, F. Petr, and S. Pavel, *Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019.
- [4] N. E. Shinta, "Pengembangan Aplikasi Blog Menggunakan Flutter dan Laravel," Dec. 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/357126611>
- [5] "PH meter(SKU: SEN0161)," DFROBOT.
- [6] DFRobot, "Gravity: Analog TDS Sensor/Meter for Arduino SKU SEN0244," DFRobot. Accessed: Nov. 30, 2024. [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244
- [7] DFRobot, "Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor SKU SEN0237," DFRobot. Accessed: Nov. 30, 2024. [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237
- [8] ALLDATASHEET.COM, "DS18B20." [Online]. Available: www.dalsemi.com