

Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Vertical House Budidaya Kepiting

1st Ferry Febriana Putra

Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu Terapan

Telkom University Bandung, Indonesia

ferryfebriana@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Mochammad Fahu Rizal

Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu Terapan

Telkom University Bandung, Indonesia

mfrizal@telkomuniversity.ac.id

3rd Duddy Soegiarto

Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu Terapan

Telkom University

line 4: Bandung, Indonesia

duddysu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Budidaya kepiting dengan metode vertical crab house merupakan inovasi yang dapat mengoptimalkan ruang terbatas di lingkungan urban. Namun, tantangan utama dalam sistem ini adalah kebutuhan akan pemantauan kualitas air yang akurat, efisien, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan empat jenis sensor: pH 4502C, suhu DS18B20, TDS, dan dissolved oxygen (DO). Setiap data sensor difilter menggunakan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi noise sebelum dikirim secara real-time ke platform cloud ThingSpeak, serta ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C. Pengujian dilakukan selama 480 menit dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa Kalman Filter berhasil meningkatkan kestabilan data pada parameter pH, suhu, dan TDS, dengan rata-rata error yang rendah terhadap sensor industri. Namun, pada parameter DO, terjadi tren penurunan nilai yang tidak konsisten dengan data referensi, sehingga menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut pada sensor atau metode filtering. Sistem ini telah berhasil diimplementasikan dan menunjukkan potensi sebagai alat bantu monitoring kualitas air pada budidaya kepiting skala terbatas secara otomatis dan real-time

Kata kunci: Internet of Things, ESP32, Kalman Filter, Monitoring Air, Budidaya Kepiting, Vertical Crab House

I. PENDAHULUAN

Budidaya perikanan di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dan menjadi tulang punggung produksi perikanan nasional. Dengan luas potensi lahan budidaya mencapai sekitar 15,59 juta hektar, yang terdiri dari 2,23 juta hektar budidaya air tawar, 1,22 juta hektar air payau, dan 12,14 juta hektar budidaya laut, sektor ini terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pangan dan meningkatkan perekonomian masyarakat. Meskipun pemanfaatan lahan budidaya air tawar baru sekitar 10,1 persen, pemerintah dan pelaku usaha terus berupaya mengoptimalkan pemanfaatan potensi tersebut melalui penerapan teknologi budidaya modern dan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan [1]. Salah satu komoditas budidaya perikanan yang memiliki prospek tinggi adalah kepiting bakau (*Scylla serrata*), yang termasuk dalam

kelompok crustacea dan bernilai ekonomi tinggi. Kepiting bakau hidup di perairan berlumpur dangkal dan sangat sensitif terhadap kualitas air [2]. Salah satu inovasi pada budidaya kepiting adalah vertical crab house. Vertical crab house merupakan sistem budidaya kepiting yang mengoptimalkan penggunaan ruang di lahan terbatas, khususnya di daerah perkotaan. Namun, tantangan utama pada budidaya kepiting adalah kualitas air secara akurat dan terintegrasi karena keterbatasan ruang yang menyulitkan pemantauan secara manual [3]. Untuk mengatasi kendala tersebut, teknologi Internet of Things (IoT) hadir sebagai solusi yang relevan. IoT adalah konsep yang memungkinkan perangkat saling terhubung melalui internet dan bertukar data secara otomatis serta real-time. Dalam konteks akuakultur, IoT dapat digunakan untuk membangun sistem pemantauan kualitas air yang terintegrasi, dan dapat diakses dari jarak jauh. Penelitian ini mengembangkan sistem Internet of Things (IoT) untuk monitoring kualitas air pada vertical house budidaya kepiting. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan dilengkapi dengan sensor pH, sensor suhu, sensor DO (Dissolved Oxygen), serta sensor TDS (Total Dissolved Solids). Untuk meningkatkan kualitas data hasil pengukuran dari sensor-sensor tersebut, diterapkan metode Kalman Filter guna mengurangi noise dan meningkatkan akurasi pembacaan. Data yang telah difilter kemudian dikirimkan dan divisualisasikan secara real-time ke platform cloud. Harapan dari penelitian ini adalah bahwa data dari sensor berbiaya rendah (low-cost) yang telah melalui proses filterisasi Kalman dapat mengurangi noise dan memperbaiki akurasi hasil pengukuran sensor sensor.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah suatu konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengirimkan dan menerima data secara otomatis. Teknologi ini memungkinkan integrasi antara perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler, dan platform cloud sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time.

B. Sensor pH

Sensor pH merupakan jenis sensor analog yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasahan suatu hasil. Sensor ini berfungsi dengan mendeteksi adanya ion hidrogen (H^+) dalam hasil, kemudian mengubahnya menjadi sinyal tegangan analog yang dapat digunakan kembali oleh mikrokontroler. Rentang dimensi sensor ini meliputi nilai pH 0 hingga 14.

C. Sensor Suhu

Sensor suhu merupakan sensor suhu digital yang menggunakan komunikasi 1-Wire, memungkinkan pengiriman data dan daya melalui satu jalur, sehingga mempermudah instalasi dan integrasi dengan sistem lainnya. Sensor ini memiliki akurasi tinggi, sekitar $\pm 0.5^\circ C$ dalam rentang suhu -10 hingga $+85^\circ C$. Sensor ini juga memiliki kemampuan untuk membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit.

D. Sensor DO (Dissolved Oxygen)

Sensor dissolved oxygen (DO) adalah sensor jenis elektrokimia galvanik yang dibuat khusus untuk mengukur jumlah oksigen terlarut dalam air, faktor penting dalam menentukan kualitas air. Sensor ini dapat langsung digunakan untuk pengukuran kapan saja karena tidak memerlukan waktu polarisasi. Dengan membran dan solusi pengisian yang dapat diganti, sensor ini memerlukan sedikit perawatan. Modul konverter sinyal plug-and-play-nya mudah digunakan dan bekerja dengan mikrokontroler terkenal seperti Arduino dan ESP32. Dengan waktu respons sekitar 90 detik untuk mencapai 98% dari nilai pengukuran akhir, sensor ini menyediakan rentang pengukuran 0 hingga 20 mg/L. Sensor tidak memerlukan waktu polarisasi, sehingga memungkinkan pengukuran langsung kapan saja. Dilengkapi dengan membran dan solusi pengisian yang dapat diganti, sensor ini menawarkan biaya perawatan yang rendah.

E. Sensor TDS (Total Dissolved Solids)

Sensor TDS adalah sensor analog yang dirancang untuk mengukur tingkat total padatan terlarut (Total Dissolved Solids) dalam air, yang menjadi indikator penting dalam menentukan kemurnian atau kualitas air. Sensor ini bekerja dengan prinsip mengukur konduktivitas listrik air, karena semakin banyak zat terlarut dalam air (seperti garam, ion, dan mineral), maka semakin besar daya hantar listriknya. Sensor ini menghasilkan sinyal tegangan analog yang proporsional terhadap tingkat konduktivitas, dan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 dapat mengolah sinyal tersebut untuk menghitung nilai TDS dalam satuan ppm (parts per million). Sensor TDS ini memiliki rentang pengukuran antara 0 hingga 1000 ppm, dan tegangan output analog antara 0 hingga 2.3 V. Sensor ini dilengkapi dengan probe tahan air serta modul pengkondisi sinyal yang telah dikalibrasi, sehingga mudah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem filtrasi air, pertanian hidroponik, dan pemantauan kualitas air secara real-time dalam sistem berbasis IoT.

F. Kalman Filter

Kalman Filter adalah sebuah algoritma estimasi linier yang digunakan untuk menyaring noise atau gangguan dari data pengukuran sensor, dengan tujuan mendapatkan estimasi nilai yang lebih akurat dan stabil. Kalman Filter bekerja secara iteratif dengan menggunakan dua jenis informasi

utama, yaitu prediksi sebelumnya (estimasi) dan pengukuran terbaru. Proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan ketidakpastian (error) pada kedua informasi tersebut.

Secara umum, Kalman Filter terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

Kalman Gain (K): menentukan seberapa besar bobot antara pengukuran dan estimasi sebelumnya yang harus digunakan. Estimasi Terbaru (\hat{x}): merupakan hasil penyaringan yang diperoleh dari kombinasi antara pengukuran dan estimasi sebelumnya.

Error Covariance (P): menunjukkan seberapa besar ketidakpastian pada estimasi yang telah diperbarui.

Adapun persamaan matematis Kalman Filter yang digunakan dalam implementasi adalah sebagai berikut:

1. Kalman Gain

$$K = \frac{P}{P + R}$$

Kalman Gain (K) menentukan proporsi seberapa besar pengukuran baru harus memengaruhi estimasi. Nilai P adalah error covariance dari estimasi sebelumnya, dan R adalah variansi dari noise pengukuran sensor. Semakin besar nilai R, maka semakin kecil bobot pengukuran baru dalam menentukan estimasi akhir.

2. Update Estimasi

$$\hat{x} = \hat{x} + K \cdot (z - \hat{x})$$

Estimasi baru \hat{x} dihitung dengan menambahkan koreksi dari hasil selisih antara pengukuran sensor z dan estimasi sebelumnya. Koreksi ini dipengaruhi oleh Kalman Gain K, sehingga estimasi baru merupakan hasil kompromi antara nilai pengukuran dan estimasi lama.

3. Update Error Estimasi

$$P = (1 - K) \cdot (P + Q)$$

Nilai error covariance P yang telah diperbarui dihitung berdasarkan Kalman Gain dan error sebelumnya. Di sini, Q adalah variansi noise dari proses sistem (process noise), yaitu ketidakpastian yang berasal dari dinamika sistem itu sendiri. Semakin besar nilai Q, maka sistem dianggap lebih tidak stabil atau lebih tidak dapat diprediksi.

F. ThingSpeak

ThingSpeak adalah layanan cloud berbasis IoT yang menyediakan fitur pengumpulan, penyimpanan, visualisasi, dan analisis data sensor secara online. Pengguna dapat mengakses data dari mana saja melalui jaringan internet, serta membuat grafik pemantauan secara real-time. Platform ini juga mendukung pengolahan data dengan MATLAB, yang membuatnya fleksibel untuk berbagai jenis analisis.

G. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berbiaya rendah dan hemat daya yang dirancang oleh Espressif Systems, menawarkan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi Internet of Things (IoT). Dilengkapi dengan prosesor dual-core 32-bit Tensilica Xtensa LX6 yang dapat beroperasi hingga 240 MHz, ESP32 mampu menangani berbagai tugas komputasi secara efisien. Mikrokontroler ini juga mendukung berbagai antarmuka komunikasi seperti SPI, I²C, UART, I²S, dan CAN, serta dilengkapi dengan fitur keamanan seperti secure boot dan enkripsi flash. Varian terbaru dari ESP32, seperti seri ESP32-C dan ESP32-S, menggunakan arsitektur RISC-V yang bersifat open-source, memberikan fleksibilitas

tambahan bagi pengembang. Dengan kombinasi fitur-fitur tersebut, ESP32 telah menjadi platform populer dalam pengembangan perangkat IoT, mulai dari perangkat wearable hingga sistem otomasi industri.

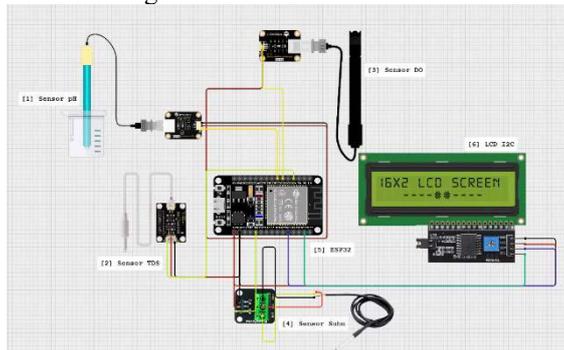
H. LCD I2C

LCD I2C adalah modul tampilan yang digunakan untuk menampilkan data secara langsung dari mikrokontroler. Modul ini merupakan pengembangan dari LCD standar 16x2 yang dilengkapi dengan antarmuka I2C (Inter-Integrated Circuit), sehingga hanya membutuhkan dua pin komunikasi, yaitu SDA dan SCL. Penggunaan antarmuka I2C sangat membantu dalam menghemat pin input/output (I/O) pada mikrokontroler seperti ESP32. Modul ini biasanya dilengkapi dengan chip PCF8574 yang mengkonversi sinyal I2C menjadi sinyal paralel yang dimengerti oleh LCD

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai bulan Juli 2025 di Universitas Telkom, tepatnya di Gedung FIT (Fakultas Ilmu Terapan) lantai 1 di hangar.

A. Perancangan Sistem



GAMBAR 1
Skematik Sistem

Gambar 1 merupakan skematik sistem monitoring kualitas air. Sistem monitoring ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali untuk membaca data dari empat sensor utama: pH, suhu (DS18B20), TDS, dan DO. Data dari sensor pH, TDS, dan DO dibaca melalui pin analog, sedangkan sensor suhu menggunakan komunikasi digital 1-Wire. Seluruh data sensor ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C 16x2 dan dikirim ke platform cloud ThingSpeak melalui koneksi WiFi. Untuk meningkatkan akurasi, setiap data sensor difilter menggunakan Kalman Filter sebelum dikirim. Rangkaian sistem dirancang secara efisien dengan pemisahan antara sinyal analog dan digital, serta menggunakan suplai daya 3.3V dan 5V sesuai kebutuhan sensor. Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas air secara otomatis dan real-time tanpa intervensi manual.

B. Metode Penelitian

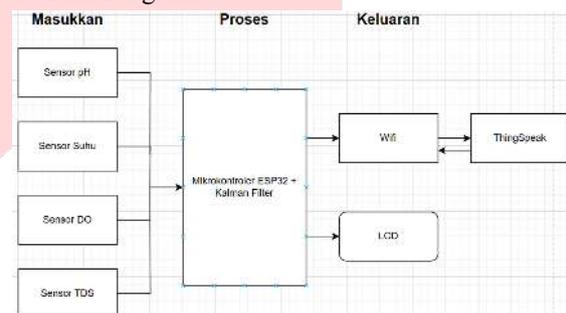
Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan yaitu:

- Studi Literatur: Tahap ini mencakup pengumpulan dan analisis referensi terkait kualitas air dalam budidaya kepiting, pemanfaatan teknologi IoT dalam monitoring lingkungan, serta studi komponen seperti sensor, ESP32, dan algoritma Kalman Filter.

Literatur yang digunakan mencakup jurnal ilmiah, buku teknis, dan dokumentasi perangkat keras.

- Prototype: Prototype dibangun berdasarkan hasil desain sistem dan referensi yang dikumpulkan. Perangkat keras dirakit sesuai rancangan, dilanjutkan dengan pemrograman ESP32 untuk membaca data sensor, menerapkan Kalman Filter, menampilkan data di LCD, dan mengirim data ke ThingSpeak. Setelah prototype selesai, dilakukan pengujian selama 480 menit dengan pengambilan data setiap 30 menit. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur industri sebagai referensi, guna menilai akurasi dan kestabilan sistem yang telah dikembangkan.

C. Blok Diagram



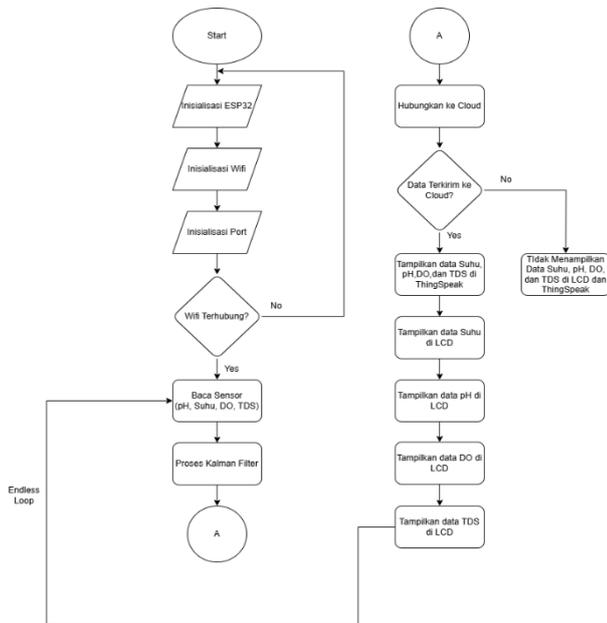
GAMBAR 2
Blok Diagram

Blok diagram sistem pada gambar 2 menunjukkan alur kerja dari sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dikembangkan untuk budidaya kepiting pada sistem vertical house. Sistem ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu masukan, proses, dan keluaran.

Pada bagian masukan, terdapat empat sensor utama yang digunakan untuk membaca parameter fisik air, yaitu sensor pH, sensor suhu, sensor DO (Dissolved Oxygen), dan sensor TDS (Total Dissolved Solids). Keempat sensor ini berfungsi sebagai input utama yang menangkap kondisi aktual lingkungan perairan tempat budidaya kepiting berlangsung. Seluruh data dari sensor kemudian dikirimkan ke bagian proses, yaitu mikrokontroler ESP32 yang telah terintegrasi dengan algoritma Kalman Filter. Kalman Filter berperan penting dalam menyaring data dari sensor agar noise atau gangguan pada pembacaan dapat diminimalkan, sehingga menghasilkan data yang lebih akurat dan stabil. ESP32 juga bertindak sebagai pusat kendali sistem, memproses data, serta mengatur pengiriman dan tampilan output.

Pada bagian keluaran, terdapat dua jalur utama distribusi data. Pertama, data dikirim melalui modul Wi-Fi menuju platform ThingSpeak, yang memungkinkan visualisasi data secara real-time melalui internet. Jalur ini juga mendukung komunikasi dua arah antara Wi-Fi dan ThingSpeak. Kedua, data juga ditampilkan secara langsung pada layar LCD agar pengguna dapat memantau kualitas air secara lokal tanpa bergantung pada koneksi internet.

D. Flowchart



GAMBAR 3
Flowchart Alur Kerja Sistem

Flowchart menggambarkan alur kerja sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang berjalan secara kontinu selama 24 jam. Sistem diawali dengan inisialisasi WiFi, ESP32, dan port komunikasi. Setelah itu, sistem memeriksa koneksi WiFi. Jika koneksi gagal, sistem kembali mengulang inisialisasi. Jika berhasil, sistem membaca data dari sensor pH, suhu, DO, dan TDS. Data yang diperoleh kemudian difilter menggunakan Kalman Filter untuk meningkatkan akurasi. Selanjutnya, data dikirim ke platform ThingSpeak. Jika pengiriman berhasil, hasil pengukuran ditampilkan pada LCD I2C. Jika gagal, data tidak ditampilkan dan sistem langsung mengulang proses pembacaan sensor. Proses ini berjalan secara terus-menerus tanpa henti selama perangkat aktif untuk mendukung pemantauan real-time.

yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolah data, serta empat sensor utama yaitu sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, sensor TDS, dan sensor DO (Dissolved Oxygen). Seluruh sensor dihubungkan ke ESP32, kemudian data yang dibaca dari masing-masing sensor diproses menggunakan metode Kalman Filter untuk menyaring noise dan meningkatkan akurasi pembacaan.

Setelah data diproses, informasi parameter kualitas air dikirimkan secara real-time ke platform cloud ThingSpeak menggunakan koneksi Wi-Fi yang juga dikonfigurasi melalui ESP32. Selain pengiriman ke cloud, sistem ini juga menampilkan data secara langsung pada layar LCD I2C sebagai keluaran lokal untuk memudahkan pemantauan langsung di lapangan.

Pada Gambar 4 terlihat komponen-komponen utama yang terpasang di dalam casing, termasuk ESP32, modul sensor, koneksi power, dan kabel-kabel data. LCD terlihat menyala, menunjukkan bahwa sistem aktif dan data sedang diproses.

B. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem monitoring kualitas air yang telah diimplementasikan, khususnya dalam hal keakuratan data sensor dan kestabilan sistem pengiriman data ke cloud. Sistem diuji dalam lingkungan budidaya buatan dengan metode pencatatan data selama 480 menit secara berkala setiap 30 menit pada air payau pada 6 Juli. Pengujian ini bertujuan untuk melihat konsistensi pembacaan sensor, kestabilan koneksi Wi-Fi, serta visualisasi data melalui ThingSpeak dan LCD.

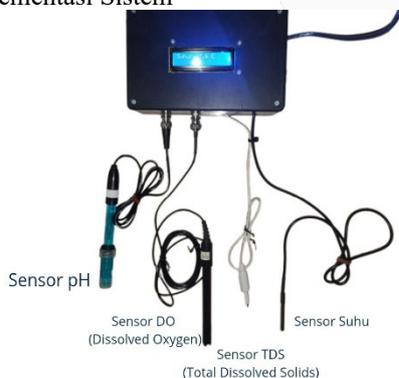
Pengujian dilakukan dengan membandingkan data keluaran dari sensor yang belum difilter (data mentah) dan setelah difilter menggunakan algoritma Kalman Filter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Kalman Filter berhasil meningkatkan akurasi pembacaan sensor dalam kondisi real-time. Selain itu, setiap data yang dikirimkan ke ThingSpeak berhasil ditampilkan dalam bentuk grafik serta nilai numerik yang mudah dipantau oleh pengguna.

Berikut adalah ringkasan pengujian dalam bentuk tabel:

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

TABEL 1

A. Implementasi Sistem



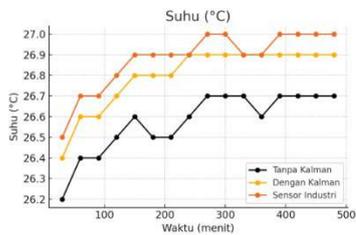
GAMBAR 4
Komponen Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan merealisasikan rancangan alat monitoring kualitas air pada budidaya kepiting menggunakan pendekatan berbasis Internet of Things (IoT). Proses implementasi dimulai dari perakitan perangkat keras

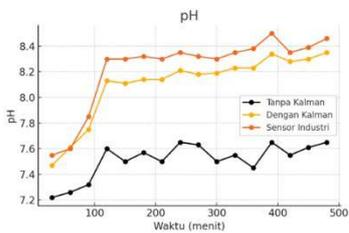
| Total Menit Percobaan | Sensor | Data (Tanpa Kalman Filter) | Data (Dengan Kalman Filter) | Sensor Industri | Δ Kalman | Error (%) |
|-----------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 30 Menit | pH | 7.22 | 7.47 | 7.55 | 0.25 | 1.06 |
| | Suhu (°C) | 26.2 | 26.4 | 26.5 | 0.2 | 0.38 |
| | DO (mg/L) | 2.2 | 2.4 | 2.5 | 0.20 | 4.00 |
| | TDS (ppm) | 1465 | 1471 | 1498 | 6 | 1.80 |
| 60 Menit | pH | 7.26 | 7.61 | 7.60 | 0.35 | 0.13 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|-------|--|-----------|------|------|------|------|------|-------|
| | Suhu | 26.4 | 26.6 | 26.7 | 0.2 | 0.37 | | | TDS | 1442 | 1476 | 1497 | 34 | 1.40 |
| | DO | 2.1 | 2.4 | 2.3 | 0.30 | 4.35 | | 300 Menit | pH | 7.50 | 8.19 | 8.30 | 0.69 | 1.33 |
| | TDS | 1452 | 1474 | 1495 | 22 | 1.40 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 |
| 90 Menit | pH | 7.32 | 7.75 | 7.85 | 0.43 | 1.27 | | | DO | 1.3 | 1.6 | 1.9 | 0.30 | 15.79 |
| | Suhu | 26.4 | 26.6 | 26.7 | 0.2 | 0.37 | | | TDS | 1450 | 1475 | 1494 | 25 | 1.27 |
| | DO | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 0.20 | 4.35 | | 330 Menit | pH | 7.55 | 8.23 | 8.35 | 0.68 | 1.44 |
| | TDS | 1441 | 1473 | 1505 | 32 | 2.12 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 26.9 | 0.2 | 0.00 |
| 120 Menit | pH | 7.60 | 8.13 | 8.30 | 0.53 | 2.05 | | | DO | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 0.30 | 21.05 |
| | Suhu | 26.5 | 26.7 | 26.8 | 0.2 | 0.37 | | | TDS | 1461 | 1480 | 1501 | 19 | 1.40 |
| | DO | 2.0 | 2.4 | 2.4 | 0.40 | 0.00 | | 360 Menit | pH | 7.45 | 8.23 | 8.38 | 0.78 | 1.79 |
| | TDS | 1462 | 1471 | 1498 | 9 | 1.80 | | | Suhu | 26.6 | 26.9 | 26.9 | 0.3 | 0.00 |
| 150 Menit | pH | 7.50 | 8.11 | 8.30 | 0.61 | 2.29 | | | DO | 1.1 | 1.6 | 1.8 | 0.50 | 11.11 |
| | Suhu | 26.6 | 26.8 | 26.9 | 0.2 | 0.37 | | | TDS | 1446 | 1478 | 1496 | 32 | 1.20 |
| | DO | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 0.20 | 8.00 | | 390 Menit | pH | 7.65 | 8.34 | 8.50 | 0.69 | 1.88 |
| | TDS | 1458 | 1470 | 1496 | 12 | 1.74 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 |
| 180 Menit | pH | 7.57 | 8.14 | 8.32 | 0.57 | 2.16 | | | DO | 0.99 | 1.3 | 2.0 | 0.31 | 35.00 |
| | Suhu | 26.5 | 26.8 | 26.9 | 0.3 | 0.37 | | | TDS | 1435 | 1475 | 1498 | 40 | 1.53 |
| | DO | 1.8 | 2.05 | 2.3 | 0.25 | 10.87 | | 420 Menit | pH | 7.55 | 8.28 | 8.35 | 0.73 | 0.84 |
| | TDS | 1437 | 1475 | 1495 | 38 | 1.34 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 |
| 210 Menit | pH | 7.50 | 8.14 | 8.30 | 0.64 | 1.93 | | | DO | 0.7 | 1.1 | 1.9 | 0.40 | 42.11 |
| | Suhu | 26.5 | 26.8 | 26.9 | 0.3 | 0.37 | | | TDS | 1457 | 1473 | 1498 | 13 | 1.67 |
| | DO | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 0.20 | 14.29 | | 450 Menit | pH | 7.61 | 8.30 | 8.39 | 0.69 | 1.07 |
| | TDS | 1449 | 1481 | 1494 | 32 | 0.87 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 |
| 240 Menit | pH | 7.65 | 8.21 | 8.35 | 0.56 | 1.68 | | | DO | 0.8 | 0.99 | 1.8 | 0.19 | 45.00 |
| | Suhu | 26.6 | 26.9 | 26.9 | 0.3 | 0.00 | | | TDS | 1460 | 1473 | 1500 | 13 | 1.80 |
| | DO | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 0.30 | 9.52 | | 480 Menit | pH | 7.65 | 8.35 | 8.46 | 0.70 | 1.30 |
| | TDS | 1467 | 1477 | 1498 | 10 | 1.40 | | | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 |
| 270 Menit | pH | 7.63 | 8.18 | 8.32 | 0.55 | 1.68 | | | DO | 0.4 | 0.72 | 1.9 | 0.32 | 62.11 |
| | Suhu | 26.7 | 26.9 | 27.0 | 0.2 | 0.37 | | | TDS | 1443 | 1475 | 1495 | 32 | 1.34 |
| | DO | 1.1 | 1.3 | 1.8 | 0.20 | 27.78 | | | | | | | | |

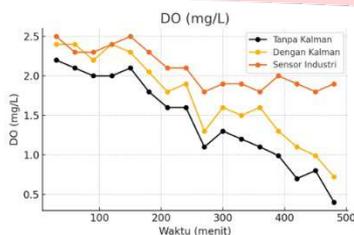
Berikut adalah hasil pengujian dalam bentuk grafik:



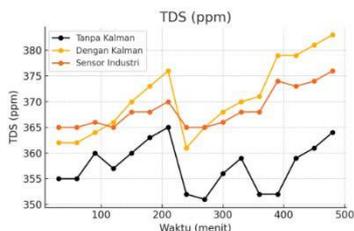
GAMBAR 5
Grafik Suhu



GAMBAR 6
Grafik pH



GAMBAR 7
Grafik DO



GAMBAR 8
Grafik TDS

Lalu selanjutnya adalah data keluaran dari cloud thingspeak:



GAMBAR 9
Hasil Suhu Pada ThingSpeak



GAMBAR 10
Hasil pH Pada ThingSpeak



GAMBAR 11
Hasil DO Pada ThingSpeak



GAMBAR 12
Hasil TDS Pada ThingSpeak

C. Pembahasan

Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dirancang telah diuji selama 480 menit dengan pencatatan data setiap 30 menit. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem dalam membaca, memfilter, dan mengirim data sensor ke platform cloud secara real-time, serta menampilkannya melalui LCD.

Secara umum, algoritma Kalman Filter memberikan dampak positif pada hasil pembacaan tiga sensor utama: pH, suhu, dan TDS. Pada sensor pH, penerapan Kalman Filter mampu meredam fluktuasi nilai analog dan menghasilkan data yang lebih mendekati nilai referensi dari sensor industri. Demikian pula pada sensor suhu, sensor DS18B20 menunjukkan hasil yang sangat stabil dengan deviasi maksimum hanya sekitar $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ setelah filter diterapkan, menjadikannya sensor dengan performa terbaik dalam sistem.

Pada sensor TDS, Kalman Filter juga berperan besar dalam menghaluskan data. Nilai TDS yang semula fluktuatif antara 1435–1467 ppm menjadi lebih stabil dan mendekati nilai referensi (sekitar 1495–1505 ppm), terutama pada menit ke-150 hingga 330, di mana error berada di bawah 1.5%.

Berbeda dengan ketiga sensor tersebut, performa sensor DO (Dissolved Oxygen) masih belum optimal. Meskipun nilai output menjadi lebih halus setelah difilter, namun tren data menunjukkan penurunan terus-menerus dan tidak sesuai dengan grafik acuan dari sensor industri. Rata-rata nilai DO pasca-filter hanya mencapai 1.6 mg/L, sedangkan referensi menunjukkan 1.9–2.0 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa penyebab bukan hanya pada noise, tetapi kemungkinan juga dari kualitas sensor atau kalibrasi yang belum optimal terhadap lingkungan pengujian.

Selain akurasi sensor, sistem juga diuji dalam hal konektivitas. ESP32 mampu mengirim data ke ThingSpeak secara konsisten tanpa kegagalan koneksi selama pengujian. Data juga dapat ditampilkan dengan lancar pada LCD I2C, memperkuat bahwa integrasi antara perangkat keras, algoritma, dan platform cloud telah berhasil dilakukan.

Secara keseluruhan, sistem terbukti mampu menjalankan fungsi pemantauan kualitas air secara otomatis dan real-time. Penggunaan Kalman Filter memberikan peningkatan akurasi yang signifikan untuk sebagian besar parameter, sementara untuk DO masih diperlukan pengembangan lebih lanjut baik dari sisi perangkat maupun strategi filtering. Sistem ini cocok untuk digunakan dalam lingkungan budidaya terbatas seperti vertical crab house, dan dapat menjadi dasar untuk

pengembangan sistem monitoring yang lebih luas dan canggih di masa depan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) pada budidaya kepiting dengan metode vertical house telah berhasil dibangun dan diuji. Sistem ini terdiri dari empat jenis sensor utama, yaitu pH 4502C, suhu DS18B20, TDS, dan Dissolved Oxygen (DO), yang dihubungkan ke mikrokontroler ESP32. Data sensor diproses menggunakan algoritma Kalman Filter untuk mengurangi noise, kemudian dikirim secara real-time ke cloud platform ThingSpeak dan ditampilkan melalui LCD I2C.

Pengujian dilakukan selama 480 menit dengan pencatatan data setiap 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa Kalman Filter berhasil memberikan perbaikan signifikan pada data sensor pH, suhu, dan TDS, di mana hasil pengukuran menjadi lebih stabil dan mendekati nilai acuan dari sensor industri. Namun, pada parameter DO, grafik hasil pengujian menunjukkan tren penurunan terus-menerus, meskipun nilai dari sensor industri tetap stabil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Kalman Filter pada sensor DO belum memberikan hasil optimal, kemungkinan disebabkan oleh performa sensor yang tidak stabil atau pengaruh lingkungan yang tidak terkompensasi secara tepat.

Secara keseluruhan, sistem telah mampu menjalankan fungsi monitoring kualitas air dengan baik pada sebagian besar parameter. Sistem ini menjawab kebutuhan monitoring otomatis dan real-time dalam lingkungan budidaya terbatas seperti vertical crab house, serta dapat menjadi solusi awal yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih luas.

REFERENSI

- [1] S. , & Z. Yuliana, "Kajian Potensi Dan Peluang Usaha Budidaya Perikanan Berbasis Pemasaran Di Kabupaten Aceh Selatan," *Jurnal Perikanan Terpadu*, vol. 3, no. 1, pp. 18–24, 2022.
- [2] S. K. M. F. S. S. T. Rumondang, "Kajian kualitas air pada budidaya kepiting bakau (*Scylla serrata* Forsskal) di Desa Kuala Indah Kecamatan Sei Suka Kabupaten Batubara," *e-Journal Budidaya Perairan*, vol. 11, no. 2, pp. 147–160, 2023.
- [3] S. F. Mujiyanti *et al.*, "Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis Terintegrasi IoT pada Vertical Crab House untuk Meningkatkan Potensi Hidup Kepiting Bakau di PT. Crab Crab Aquatic," *Sewagati*, vol. 8, no. 3, pp. 1598–1607, Apr. 2024, doi: 10.12962/j26139960.v8i3.914.

