

Sistem Monitoring Limbah Akuakultur dan Pengendalian Air Berbasis IoT dan Cloud

IoT and Cloud-Based Aquaculture Waste Monitoring and Water Control System

Dicky Darmawan^{a,1}, Iwan Fitrianto Rahmad^{b,2}

^aMahasiswa Universitas Potensi Utama, Jl.K.L Yos Sudarso KM 6.5 Tj.Mulia, Medan, 20241, Indonesia

^bDosen Universitas Potensi Utama, Jl.K.L Yos Sudarso KM 6.5 Tj.Mulia, Medan, 20241, Indonesia
dickydarmawan685@gmail.com, iwanfitriah@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem monitoring limbah akuakultur serta pengendalian air berbasis Internet of Things (IoT) dan cloud computing menggunakan Firebase. Sistem dirancang untuk memantau parameter kualitas air—meliputi ketinggian, kekeruhan, dan suhu—secara real-time melalui aplikasi Android yang terhubung dengan Firebase Realtime Database. Data sensor dikirim dan disimpan di cloud, kemudian diolah menggunakan metode Long Short-Term Memory (LSTM) untuk memprediksi tren perubahan parameter kualitas air dalam jangka pendek, yaitu hingga satu jam ke depan. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data sensor secara real-time dan memberikan notifikasi otomatis ketika parameter melampaui ambang batas. Model LSTM menghasilkan akurasi prediksi tinggi dengan nilai Mean Squared Error (MSE) yang rendah. Sistem ini meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, menjaga stabilitas kualitas air, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data historis untuk budidaya ikan berkelanjutan.

Kata Kunci : Internet of Things (IoT), Firebase, Akuakultur, LSTM, Monitoring Kualitas Air

ABSTRACT

This study discusses the design and implementation of an aquaculture waste monitoring and water control system based on the Internet of Things (IoT) and cloud computing using Firebase. The system is designed to monitor water quality parameters—including water level, turbidity, and temperature—in real time through an Android application connected to the Firebase Realtime Database. Sensor data are transmitted and stored in the cloud, then processed using the Long Short-Term Memory (LSTM) method to predict short-term trends of water quality parameters, specifically up to one hour ahead. The research employs the Research and Development (R&D) method, which includes the design, implementation, and testing stages. The testing results show that the system can display sensor data in real time and automatically send notifications when parameters exceed the predefined thresholds. The LSTM model achieves high prediction accuracy with a low Mean Squared Error (MSE) value. This system improves waste management efficiency, maintains water quality stability, and supports data-driven decision-making for sustainable aquaculture practices.

Keywords : Internet of Things (IoT), Firebase, Aquaculture, LSTM, Water Quality Monitoring

Disubmit:

Info Artikel :
Direview:

Diterima :

Copyright © 2025 – senadimu. All rights reserved.

1. PENDAHULUAN

Akuakultur merupakan sektor yang berkembang pesat dan berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan global. Namun, aktivitas budidaya ikan juga menimbulkan tantangan lingkungan yang kompleks, terutama dalam pengelolaan limbah dan stabilitas kualitas air. Sisa pakan dan feses ikan yang menjadi sumber limbah dapat meningkatkan kadar amonia, menurunkan oksigen terlarut, serta memicu eutrofikasi yang berdampak pada penurunan produktivitas dan kesehatan ikan (Munguti et al., 2021; Boyd et al., 2024). Oleh karena itu, pemantauan kualitas air menjadi aspek krusial dalam menjaga keberlanjutan budidaya ikan.

Parameter penting seperti suhu, kekeruhan, dan ketinggian air sangat memengaruhi kondisi lingkungan perairan. Perubahan ekstrem pada parameter-parameter tersebut dapat menyebabkan stres fisiologis dan bahkan kematian pada ikan (Alfonso, 2021). Sayangnya, sebagian besar proses pemantauan di lapangan masih dilakukan secara manual dan periodik, sehingga tidak efisien dan rentan terhadap keterlambatan deteksi perubahan kualitas air (Lindholm-Lehto et al., 2023).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi terhadap keterbatasan ini melalui sistem pemantauan otomatis dan real-time. IoT memungkinkan integrasi antara sensor, aktuator, dan jaringan internet untuk mengumpulkan dan mengirimkan data secara terus-menerus. Menurut Munawar et al. (2023), penerapan IoT dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan lingkungan akuakultur dengan memungkinkan kontrol berbasis data. Integrasi dengan teknologi cloud computing juga memungkinkan penyimpanan data historis dan analisis berkelanjutan untuk mendukung pengambilan keputusan (Mell & Grance, 2011, dalam Ahmadisakha & Andrikopoulos, 2024).

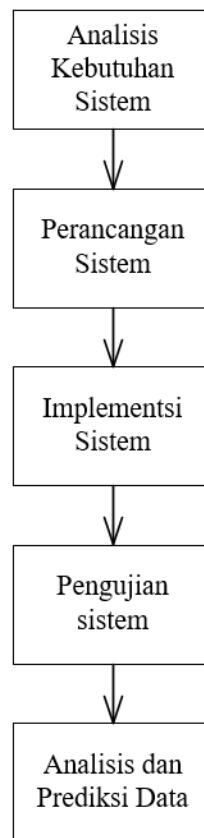
Selain pemantauan, kemampuan sistem untuk memprediksi perubahan kualitas air dalam jangka pendek menjadi penting agar tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum kondisi ekstrem terjadi. Metode Long Short-Term Memory (LSTM) memiliki kemampuan dalam menganalisis pola deret waktu dan memberikan hasil prediksi yang akurat pada parameter kualitas air (Wang et al., 2019; Hu et al., 2020). Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pemantauan real-time tanpa menggabungkan prediksi berbasis machine learning maupun kontrol adaptif. Selain itu, belum banyak sistem yang mengintegrasikan dua mode kontrol (otomatis dan manual), pengaturan ambang batas, notifikasi berbasis kondisi, visualisasi tren, serta riwayat notifikasi dalam satu platform aplikasi berbasis Firebase. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sistem monitoring akuakultur yang lebih cerdas, prediktif, dan adaptif terhadap perubahan lingkungan perairan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan tujuan merancang, membangun, dan menguji sistem monitoring limbah akuakultur serta pengendalian air berbasis Internet of Things (IoT) dan cloud computing. Metode ini memungkinkan pengembangan sistem secara iteratif — mulai dari analisis kebutuhan, desain arsitektur, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, hingga pengujian fungsional dan analisis prediksi menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM). Desain Sistem

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang terdiri atas lima tahap utama yang saling berhubungan secara iteratif:



Gambar 1. Tahapan penelitian sistem monitoring limbah akuakultur berbasis IoT dan cloud

1. Analisis kebutuhan sistem

Dilakukan untuk menentukan parameter kualitas air yang menjadi fokus pemantauan, yaitu ketinggian air, kekeruhan, dan suhu, serta merumuskan kebutuhan perangkat keras (sensor, aktuator, mikrokontroler) dan perangkat lunak (Firebase dan aplikasi Android).

2. Perancangan sistem

Pada tahap ini dibuat desain arsitektur sistem IoT, diagram aliran data, rancangan basis data di Firebase, serta antarmuka pengguna (UI) aplikasi Android. Hasil analisis kebutuhan menjadi dasar dalam menentukan jenis sensor, konfigurasi relay, serta logika kontrol otomatis.

3. Implementasi sistem

Implementasi dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Sensor ultrasonik (HC-SR04), sensor turbidity, dan sensor DS18B20 dihubungkan ke ESP32 untuk mengukur masing-masing parameter. Data dikirim ke Firebase Realtime Database menggunakan koneksi Wi-Fi dengan format JSON melalui protokol HTTP. Aplikasi Android dikembangkan untuk membaca data secara event-driven, sehingga setiap perubahan nilai di Firebase langsung diperbarui secara real-time di antarmuka pengguna.

4. Pengujian sistem

Tahap ini menggunakan pendekatan blackbox testing untuk menguji fungsionalitas sistem berdasarkan masukan (input) dan keluaran (output). Pengujian dilakukan terhadap seluruh fitur utama, meliputi pembacaan sensor, kontrol otomatis dan manual, sinkronisasi data, serta sistem notifikasi.

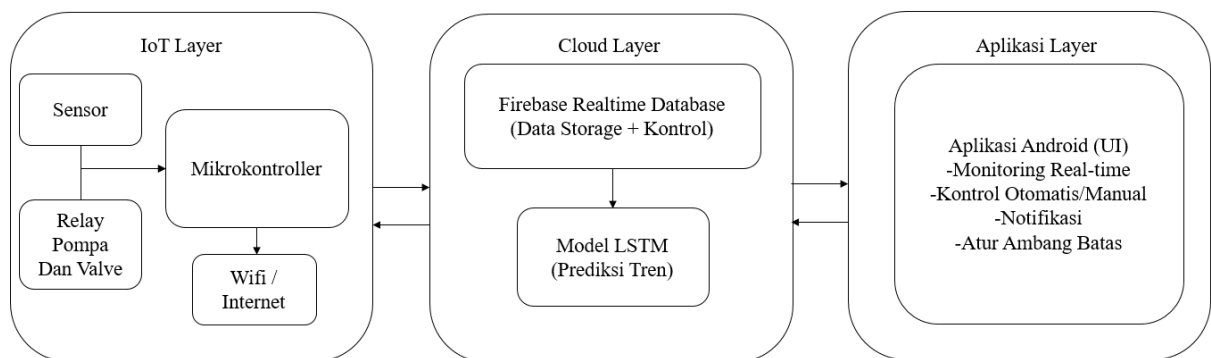
5. Analisis dan prediksi data

Data historis yang tersimpan di Firebase digunakan sebagai dataset untuk pelatihan model LSTM. Model ini dilatih untuk memprediksi tren perubahan kualitas air dalam jangka pendek guna mendukung pengambilan keputusan preventif.

Pendekatan ini dilakukan secara iteratif, di mana hasil dari setiap tahap digunakan untuk menyempurnakan tahap berikutnya. Misalnya, hasil pengujian sensor pada tahap implementasi digunakan untuk memperbaiki parameter model LSTM pada tahap analisis.

B. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem ditunjukkan pada Gambar 2, yang terdiri atas tiga lapisan utama: perangkat (device layer), cloud (cloud layer), dan aplikasi (application layer).



Gambar 2. Arsitektur sistem monitoring limbah akuakultur dan pengendalian air berbasis IoT dan Cloud

1. Lapisan Perangkat (Device Layer)

Lapisan ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur ketinggian air, sensor turbidity untuk mendeteksi tingkat kekeruhan, dan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air. Dua modul relay mengendalikan pompa penguras dan katup pengisi air. ESP32 mengirimkan data sensor setiap 5–7 detik ke Firebase Realtime Database melalui koneksi Wi-Fi.

2. Lapisan Cloud (Cloud Layer)

Sistem cloud menggunakan Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan dan pertukaran data antarperangkat. Data dikirim dalam format JSON menggunakan metode POST dan diakses kembali oleh aplikasi Android secara event listener. Firebase juga menyimpan data historis untuk keperluan pelatihan dan prediksi model LSTM.

3. Lapisan Aplikasi (Application Layer)

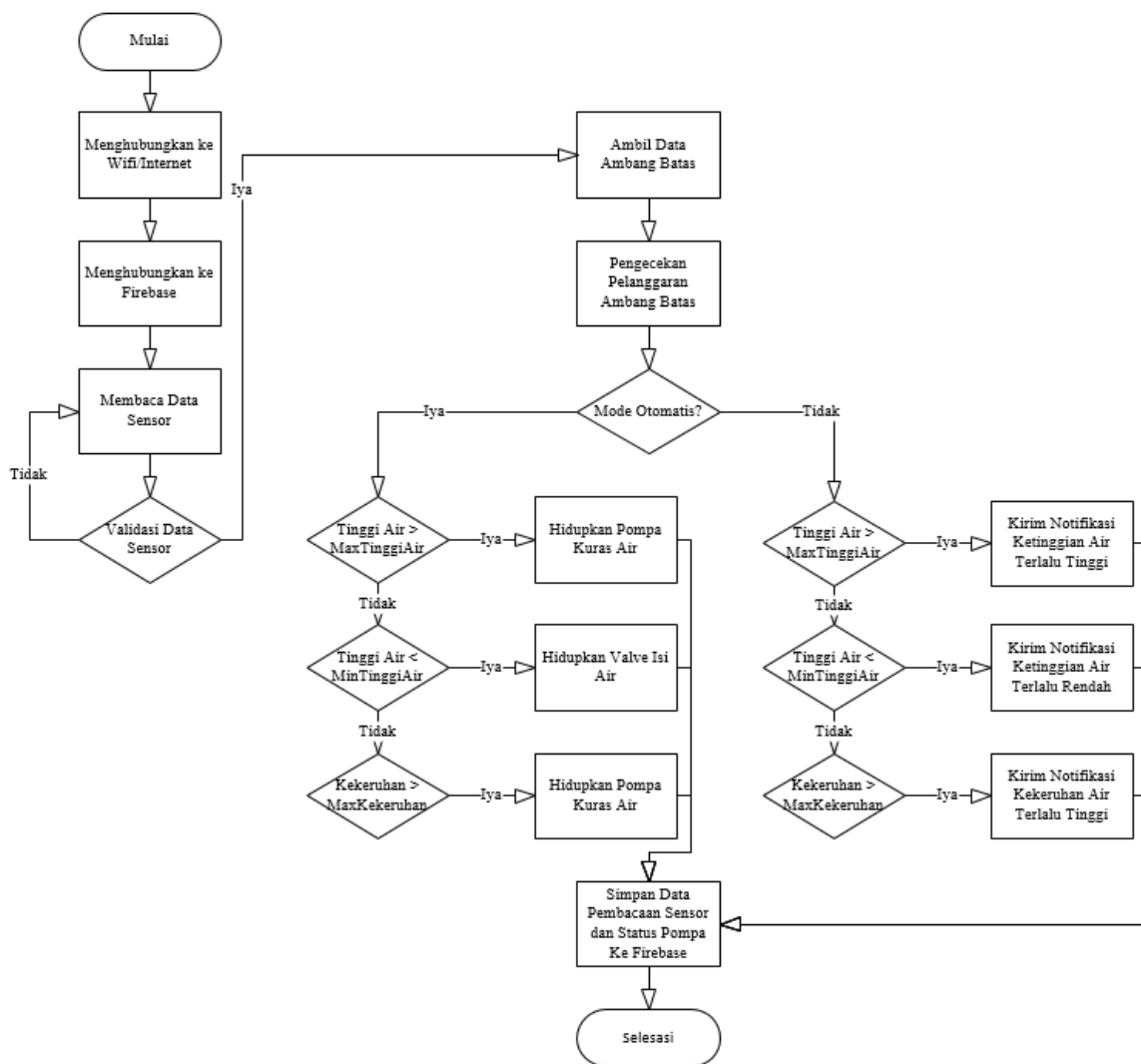
Aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data sensor secara real-time, mengatur ambang batas, memilih mode kontrol (otomatis atau manual), serta menampilkan

notifikasi dan hasil prediksi. Aplikasi ini dirancang dengan user-friendly interface menggunakan bahasa Kotlin dan mendukung komunikasi dua arah dengan Firebase.

Sistem ini bekerja secara terintegrasi: sensor mengirim data → Firebase menyimpan dan meneruskan ke aplikasi → pengguna atau sistem mengambil keputusan → Firebase memperbarui perintah ke perangkat. Aliran data dua arah ini memungkinkan kontrol otomatis maupun manual secara real-time.

C. Diagram Alur Sistem (Flowchart)

Untuk menggambarkan proses kerja sistem monitoring limbah akuakultur dan pengendalian air berbasis IoT dan cloud, dibuat diagram alur seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Diagram ini menjelaskan tahapan utama sistem mulai dari koneksi perangkat ke jaringan Wi-Fi, pengambilan data sensor, validasi data, hingga pengendalian otomatis atau manual berdasarkan ambang batas yang ditetapkan.



Gambar 3. Diagram alur sistem monitoring limbah akuakultur dan pengendalian air berbasis IoT dan Cloud.

Pada tahap awal, sistem akan menghubungkan mikrokontroler ESP32 ke jaringan Wi-Fi dan Firebase Realtime Database. Setelah koneksi berhasil, perangkat melakukan pembacaan sensor ketinggian air (HC-SR04), sensor kekeruhan, dan sensor suhu (DS18B20). Nilai sensor kemudian divalidasi untuk memastikan tidak terjadi kesalahan pembacaan sebelum dikirim ke Firebase.

Selanjutnya, sistem mengambil data ambang batas dari Firebase dan melakukan pengecekan terhadap kondisi parameter. Apabila mode operasi yang dipilih adalah otomatis, sistem akan mengaktifkan aktuator sesuai logika otomatis.

Sementara itu, jika mode yang digunakan adalah manual, sistem tidak melakukan pengendalian otomatis, tetapi mengirimkan notifikasi ke aplikasi Android sebagai peringatan bagi pengguna. Notifikasi berisi kondisi spesifik yang terdeteksi, seperti “Ketinggian air terlalu tinggi” atau “Kekeruhan melebihi ambang batas”.

Setiap hasil pembacaan sensor dan status kontrol kemudian disimpan di Firebase secara real-time sebagai data historis yang dapat diakses melalui aplikasi Android.

D. Model Prediksi Tren

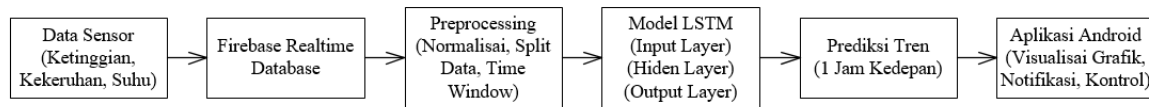
Untuk mendukung kemampuan prediksi tren kualitas air, sistem ini mengintegrasikan model Long Short-Term Memory (LSTM) yang merupakan pengembangan dari Recurrent Neural Network (RNN). Model ini dirancang untuk mengatasi permasalahan vanishing gradient pada RNN konvensional, sehingga mampu mempertahankan informasi jangka panjang dan mengenali pola fluktuatif pada data sensor yang bersifat deret waktu (time series) (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Arsitektur LSTM yang digunakan terdiri atas tiga komponen inti, meliputi lapisan masukan, lapisan tersembunyi (hidden layer), serta lapisan keluaran. Data input berupa nilai sensor suhu, ketinggian air, dan kekeruhan yang dikumpulkan secara berkala dari Firebase Realtime Database. Tiap urutan data mewakili rentang waktu tertentu (time step) untuk membentuk pola historis yang akan digunakan dalam proses pelatihan.

Model dilatih menggunakan platform Google Colab dengan konfigurasi utama berupa 50 epoch, batch size 32, serta learning rate 0.001 yang dioptimasi menggunakan algoritma Adam. Dataset dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu 85% untuk pelatihan dan 15% untuk pengujian. Selama proses pelatihan, nilai loss terus mengalami penurunan hingga mencapai kestabilan, menunjukkan bahwa model telah mampu mempelajari pola perubahan yang terdapat pada data kualitas air.

Kinerja model dievaluasi dengan menggunakan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Square Error (RMSE) sebagai metrik untuk menilai tingkat kesalahan prediksi. Semakin kecil nilai MSE dan RMSE, maka semakin baik kemampuan model dalam memprediksi data aktual.

Secara umum, model LSTM ini digunakan untuk menghasilkan prediksi jangka pendek (sekitar 1 jam ke depan) terhadap parameter kualitas air, sehingga pengguna dapat mengantisipasi potensi perubahan lingkungan perairan sebelum terjadi kondisi ekstrem. Integrasi antara model LSTM dan sistem IoT–Cloud memungkinkan analisis prediktif dilakukan secara berkelanjutan, berdasarkan data historis yang tersimpan di Firebase.



Gambar 4. Arsitektur sistem prediksi kualitas air berbasis LSTM yang terintegrasi dengan IoT, Firebase, dan aplikasi Android.

Gambar 4 menampilkan arsitektur sistem prediksi berbasis Long Short-Term Memory (LSTM) yang diintegrasikan dengan sistem Internet of Things (IoT) dan Firebase. Data hasil pengukuran dari tiga sensor utama—sensor suhu (DS18B20), sensor ketinggian air (HC-SR04), dan sensor kekeruhan—dikirim secara berkala ke Firebase Realtime Database melalui mikrokontroler ESP32.

Firebase berfungsi sebagai pusat penyimpanan dan pengelolaan data historis, sekaligus sebagai sumber data bagi model LSTM. Sebelum dilakukan pelatihan, data akan melalui tahap preprocessing, meliputi normalisasi nilai sensor dan pembentukan time window untuk pola deret waktu. Data yang telah siap digunakan menjadi input pada model LSTM, yang terdiri dari lapisan input, lapisan tersembunyi dengan beberapa unit memori (memory cells), dan lapisan output untuk menghasilkan prediksi.

Hasil prediksi yang dihasilkan model LSTM berupa estimasi tren perubahan parameter kualitas air dalam jangka pendek (sekitar 1 jam ke depan). Nilai prediksi ini kemudian dikirim kembali ke Firebase dan ditampilkan pada aplikasi Android dalam bentuk grafik tren, status kondisi air, serta notifikasi peringatan jika nilai parameter mendekati ambang batas.

E. Metode Pengujian Sistem

Proses pengujian sistem bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi sesuai perancangan. Metode black box testing digunakan karena pengujian difokuskan pada kesesuaian keluaran terhadap masukan serta respons sensor, tanpa mempertimbangkan logika internal program. Pendekatan ini relevan untuk sistem IoT yang mengintegrasikan interaksi antara perangkat, cloud, dan aplikasi secara bersamaan.

1. Desain Eksperimen

Pengujian dilakukan selama 5 hari berturut-turut pada lingkungan akuakultur skala kecil. Interval pembacaan sensor ditetapkan setiap 7 detik, menyesuaikan kecepatan pengiriman data ke Firebase Realtime Database. Pengujian dilakukan dalam kondisi nyata, dengan variasi suhu, kekeruhan, dan ketinggian air untuk menilai stabilitas sistem dalam menghadapi fluktuasi lingkungan.

2. Parameter dan Skenario Pengujian

Pengujian sistem dilakukan berdasarkan lima skenario utama. Pertama, pengujian pembacaan data sensor dilakukan untuk memastikan bahwa data ketinggian, suhu, dan kekeruhan dapat dibaca dengan benar oleh ESP32 dan tersimpan di Firebase. Kedua, skenario kontrol otomatis digunakan untuk memverifikasi bahwa pompa penguras dan katup pengisi air aktif sesuai ambang batas. Ketiga, pengujian kontrol manual memastikan pengguna dapat menyalakan dan mematikan perangkat melalui aplikasi Android. Keempat, dilakukan pengujian sinkronisasi data untuk menilai kestabilan komunikasi data real-time antara perangkat IoT, cloud, dan aplikasi. Terakhir, pengujian sistem notifikasi bertujuan memastikan pesan peringatan dikirim hanya ketika parameter melampaui ambang batas pada mode manual.

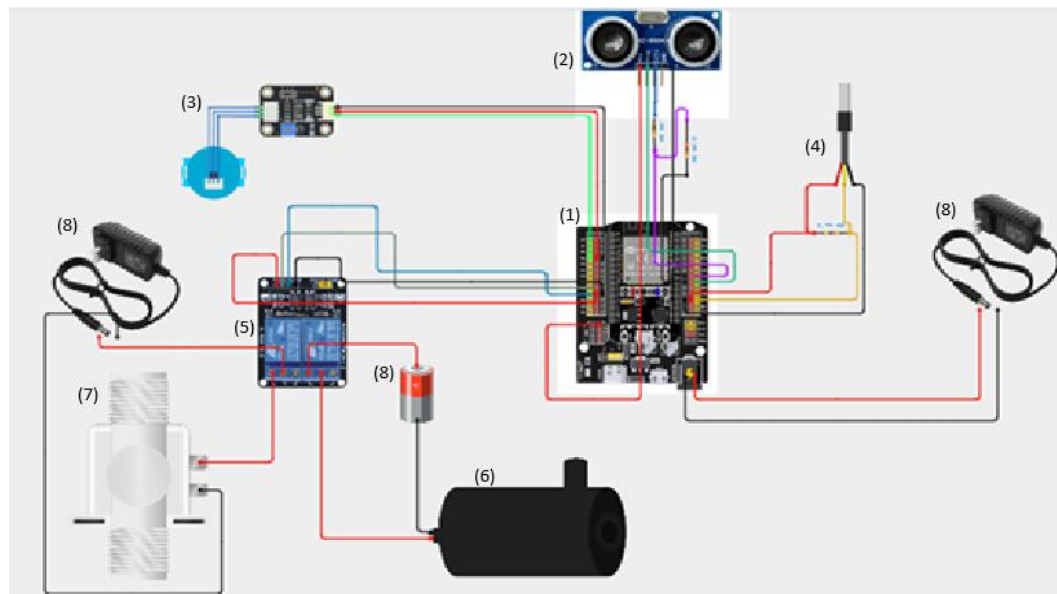
3. Evaluasi dan Kriteria Keberhasilan

Setiap skenario diuji sebanyak 10 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Kriteria keberhasilan ditentukan berdasarkan kesesuaian antara output aktual dan output yang diharapkan. Selain itu, diukur pula latensi pembaruan data, yang rata-rata menunjukkan waktu sinkronisasi 1–2 detik antarperangkat. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar analisis kinerja sistem pada bagian Hasil dan Pembahasan, serta menjadi validasi terhadap efektivitas model prediksi LSTM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem IoT dan Cloud

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan menghubungkan ESP32 dengan sensor dan aktuator sesuai konfigurasi rancangan. Sensor ultrasonik (HC-SR04) digunakan untuk mengukur ketinggian air dengan memanfaatkan waktu pantul gelombang suara, sensor turbidity digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dalam satuan NTU (Nephelometric Turbidity Unit), sedangkan sensor DS18B20 digunakan untuk membaca suhu air dengan akurasi digital tinggi. Modul relay menghubungkan mikrokontroler dengan dua aktuator, yaitu pompa penguras dan katup selenoid pengisian air.



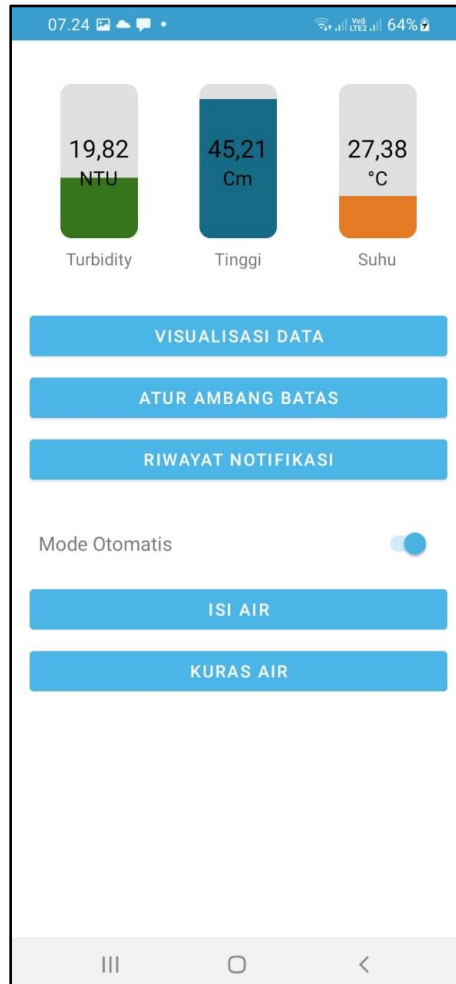
Gambar 5. Rangkaian sistem monitoring dan pengendalian air berbasis IoT

Rangkaian sistem secara fisik ditunjukkan pada Gambar 4, yang menggambarkan hubungan antara sensor, mikrokontroler, modul relay, dan sumber daya eksternal.

Setiap komponen pada Gambar 5 ditandai dengan penomoran untuk memperjelas posisi dan fungsi dalam sistem. Nomor (1) menunjukkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem; (2) sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi mengukur ketinggian air; (3) sensor turbidity untuk mengukur tingkat kekeruhan; (4) sensor suhu DS18B20; (5) modul relay dua kanal sebagai penghubung antara ESP32 dan aktuator; (6) pompa air untuk proses pengurasan; (7) katup selenoid untuk pengisian air; dan (8) sumber daya eksternal yang memberikan suplai tegangan ke seluruh sistem.

B. Implementasi Aplikasi Android

Aplikasi Android dikembangkan sebagai antarmuka pengguna utama yang terintegrasi dengan Firebase. Aplikasi ini menampilkan data sensor secara real-time, memungkinkan pengaturan ambang batas untuk setiap parameter (ketinggian, kekeruhan, dan suhu), serta menyediakan fitur riwayat notifikasi dan visualisasi data. Tampilan antarmuka utama ditunjukkan pada Gambar 6, yang menampilkan panel monitoring, kontrol pompa dan valve, serta indikator mode otomatis/manual.



Gambar 6. Tampilan antarmuka aplikasi Android untuk monitoring kualitas air.

Aplikasi juga dilengkapi fitur visualisasi tren data dan prediksi yang menampilkan perubahan parameter kualitas air dari waktu ke waktu. Pengguna dapat menganalisis grafik ketinggian air, kekeruhan, dan suhu dalam satu tampilan. Selain itu, sistem mengirimkan notifikasi otomatis ke aplikasi ketika nilai parameter melampaui ambang batas, sehingga pengguna dapat mengambil tindakan korektif secara cepat.

C. Analisis Kinerja Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan fungsi utama bekerja sesuai dengan rancangan. Pendekatan pengujian yang digunakan adalah blackbox testing, yaitu pengujian yang berfokus pada masukan (input) dan keluaran (output) sistem tanpa melihat proses internal program.

Pengujian mencakup empat aspek utama: kinerja sensor, sinkronisasi data melalui Firebase, fungsi kontrol otomatis dan manual, serta notifikasi kondisi ambang batas.

1. Kinerja Sensor

Setiap sensor diuji untuk memastikan mampu membaca nilai parameter air secara stabil dan real-time.

Sensor ultrasonik (HC-SR04) mendeteksi perubahan ketinggian air secara konsisten saat proses pengisian dan pengurasan berlangsung. Sensor turbidity menampilkan nilai kekeruhan yang meningkat saat kondisi air keruh dan menurun setelah air diganti, sesuai ekspektasi sistem. Sementara itu, sensor DS18B20 menunjukkan hasil pembacaan suhu air yang stabil dengan fluktuasi rendah selama pengujian.

Semua sensor bekerja tanpa error dan mampu memperbarui data ke Firebase setiap 5–7 detik, menunjukkan bahwa sistem akuisisi data berjalan stabil untuk kebutuhan monitoring real-time.

2. Kinerja Komunikasi dan Sinkronisasi Data

Sistem menggunakan Firebase Realtime Database sebagai media sinkronisasi antara perangkat IoT dan aplikasi Android. Selama pengujian, data sensor dikirim secara berkala dalam format JSON dan ditampilkan langsung pada aplikasi Android.

Rata-rata waktu pembaruan (update delay) antara perangkat dan aplikasi adalah sekitar 1–2 detik, tergantung kondisi jaringan Wi-Fi. Tidak ditemukan kehilangan data selama proses pengiriman. Selain itu, Firebase juga berfungsi sebagai penyimpanan historis untuk kebutuhan analisis tren data dan proses prediksi menggunakan model Long Short-Term Memory (LSTM).

3. Pengujian Fungsional (Blackbox Testing)

Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai kondisi masukan (input) dari sensor maupun pengguna dan mengamati keluaran (output) yang dihasilkan oleh sistem. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1, yang memuat skenario pengujian utama sistem monitoring limbah akuakultur.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

No	Skenario Pengujian	Kondisi	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Sensor ultrasonik membaca di bawah ambang batas minimum	Ketinggian air < batas bawah	Katup pengisi air aktif	Berhasil
2	Sensor ultrasonik membaca di atas ambang batas maksimum	Ketinggian air > batas atas	Pompa penguras aktif	Berhasil
3	Sensor turbidity membaca nilai tinggi	Air keruh	Pompa penguras aktif dan notifikasi dikirim	Berhasil
4	Sensor DS18B20 membaca suhu stabil	Kondisi normal	Tidak ada aksi sistem	Berhasil
5	Mode manual diaktifkan	Tombol “Isi Air” ditekan	Katup pengisi air aktif	Berhasil

No	Skenario Pengujian	Kondisi	Hasil yang Diharapkan	Hasil
6	Mode otomatis aktif	Sensor melewati ambang batas	Aktuator merespons	Berhasil
7	Koneksi Firebase terputus sementara	Tidak ada data baru	Data tersinkron otomatis setelah koneksi pulih	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan rancangan. Setiap skenario menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kondisi input, membuktikan bahwa sistem memiliki stabilitas, reliabilitas, dan konsistensi yang tinggi dalam menangani proses monitoring serta pengendalian perangkat secara real-time.

4. Evaluasi Fungsional Sistem

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian air berbasis IoT berfungsi secara optimal sesuai rancangan. Setiap komponen—mulai dari sensor, perangkat mikrokontroler, layanan cloud Firebase, hingga aplikasi Android—berhasil berinteraksi secara terintegrasi dan menghasilkan respons yang konsisten terhadap kondisi lingkungan.

Seluruh sensor mampu mengirimkan data ke Firebase secara real-time dengan jeda pembaruan rata-rata 5–7 detik, sedangkan proses sinkronisasi antara Firebase dan aplikasi Android memiliki delay pembaruan sekitar 1–2 detik. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi dua arah antara perangkat IoT dan cloud berjalan stabil dan andal.

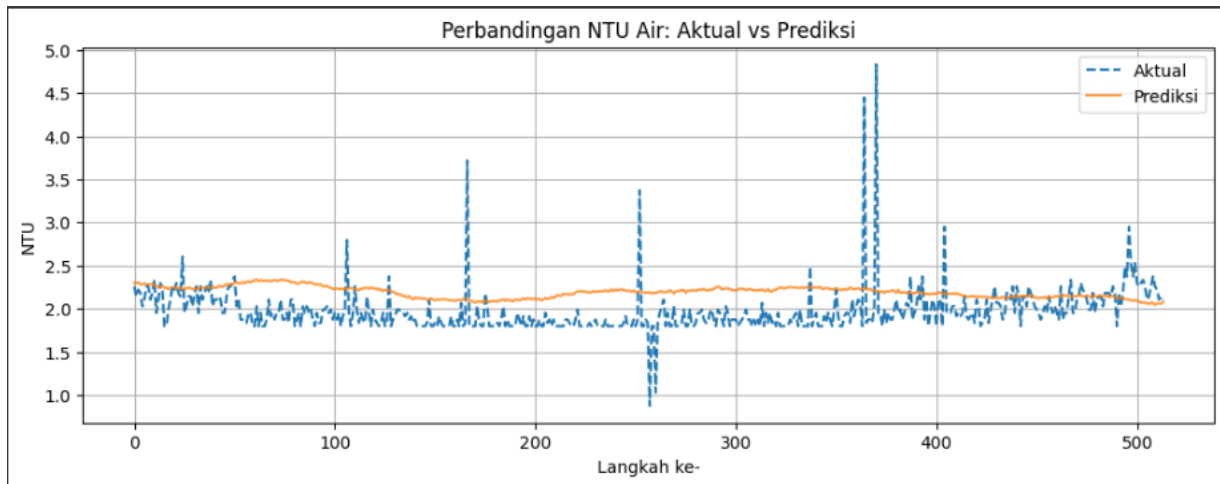
Pada mode otomatis, sistem secara tepat mengendalikan aktuator berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan, sedangkan pada mode manual, pengguna dapat memberikan perintah secara langsung dengan waktu respons kurang dari 1 detik. Fitur notifikasi juga berfungsi dengan baik, mengirimkan peringatan hanya ketika parameter melebihi ambang batas dalam mode manual, sesuai dengan logika sistem yang dirancang.

Dengan hasil tersebut, sistem dapat dikategorikan stabil, responsif, dan reliabel dalam menjalankan fungsi pemantauan serta pengendalian kualitas air. Evaluasi ini menunjukkan bahwa rancangan sistem telah memenuhi aspek fungsional dan kinerja yang diperlukan untuk mendukung proses pengelolaan akuakultur secara efisien dan berkelanjutan.

D. Hasil Prediksi Menggunakan LTSM

Model Long Short-Term Memory (LSTM) dikembangkan menggunakan data historis dari Firebase untuk memprediksi tren perubahan parameter kualitas air dalam jangka pendek (short-term forecasting) hingga 1 jam ke depan. Dengan interval pengambilan data rata-rata 7 detik, prediksi 1 jam masih berada dalam konteks sistem pemantauan real-time.

Model dilatih menggunakan data dengan pembagian 85% untuk pelatihan dan 15% untuk pengujian, dengan tiga parameter utama yaitu ketinggian air, kekeruhan, dan suhu air. Arsitektur model terdiri atas dua lapisan LSTM dengan 64 neuron dan satu lapisan dense output. Pelatihan dilakukan menggunakan optimizer Adam dengan learning rate 0,001 dan loss function berupa mean squared error (MSE).



Gambar 7 Perbandingan data aktual dan hasil prediksi kekeruhan

Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan antara data aktual dan hasil prediksi pada parameter kekeruhan air (NTU). Data aktual (garis biru) memiliki fluktuasi yang tinggi akibat dinamika partikel dan noise sensor, sedangkan garis prediksi (oranye) menunjukkan pola yang lebih halus namun tetap mengikuti arah tren utama data. Hal ini menandakan bahwa model LSTM berhasil menangkap pola umum perubahan kekeruhan air, meskipun tidak mengikuti setiap lonjakan ekstrem secara detail.

Hasil evaluasi kuantitatif menunjukkan performa model yang sangat baik dengan nilai Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Evaluasi Akurasi Model LSTM

Parameter	MSE	RMSE	Interpretasi Akurasi
Ketinggian Air	0.0359	0.1897	Akurasi tinggi, menunjukkan model mampu mengenali pola perubahan ketinggian dengan baik.
Kekeruhan (NTU)	0.1302	0.3609	Akurasi cukup baik, meskipun terdapat sedikit noise akibat variasi intensitas sensor optik.
Suhu Air	0.00059	0.0243	Akurasi sangat tinggi, prediksi suhu sangat stabil dan presisi.

Nilai kesalahan yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi tinggi untuk semua parameter. Parameter suhu menunjukkan hasil terbaik dengan RMSE sekitar 0.0359°C , yang berarti rata-rata kesalahan prediksi berada di bawah 0.04°C , sangat kecil untuk sistem monitoring lingkungan. Parameter ketinggian air juga menunjukkan performa baik dengan RMSE 0.1897 cm, masih dalam batas toleransi sensor ultrasonik.

Sementara itu, nilai RMSE untuk kekeruhan sebesar 0.3609 NTU tergolong sangat baik mengingat data kekeruhan cenderung fluktuatif akibat efek pantulan cahaya, arus, dan partikel tersuspensi di air. Pola ini juga ditemukan pada penelitian Gandh et al. (2023), di mana model LSTM menunjukkan kecenderungan smoothing effect terhadap variabel dengan variasi tinggi seperti turbidity.

Hasil ini menunjukkan bahwa model LSTM mampu mengenali pola temporal dari data kualitas air dan menghasilkan prediksi jangka pendek yang stabil serta dapat diandalkan. Akurasi yang tinggi terutama pada parameter suhu memperlihatkan bahwa sistem mampu memberikan estimasi yang akurat dan konsisten terhadap dinamika kualitas air. Dengan kemampuan ini, sistem dapat digunakan untuk

memberikan peringatan dini terhadap perubahan kualitas air, sehingga membantu pembudidaya ikan melakukan tindakan korektif sebelum kondisi menjadi kritis.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring limbah akuakultur dan pengendalian air berbasis Internet of Things (IoT) dan cloud computing, yang dilengkapi dengan kemampuan prediksi berbasis Long Short-Term Memory (LSTM). Sistem ini memantau tiga parameter utama kualitas air, yaitu ketinggian air, kekeruhan, dan suhu, secara real-time melalui aplikasi Android yang terhubung dengan Firebase Realtime Database.

Hasil pengujian fungsional menggunakan pendekatan blackbox testing menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem — meliputi sensor, aktuator, komunikasi data, serta aplikasi Android — bekerja sesuai rancangan. Sistem mampu menampilkan data real-time, menjalankan mode kontrol otomatis dan manual dengan respons cepat, serta mengirim notifikasi ketika parameter air melampaui ambang batas yang telah ditentukan.

Model LSTM yang diterapkan untuk prediksi jangka pendek (sekitar satu jam ke depan) menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai RMSE sebesar 0.0243°C untuk suhu air, 0.1897 cm untuk ketinggian air, dan 0.3609 NTU untuk kekeruhan air. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali pola perubahan parameter air secara efektif, terutama pada data yang bersifat stabil seperti suhu.

Secara keseluruhan, integrasi antara IoT, cloud Firebase, dan algoritma LSTM terbukti efektif dalam mendukung pengelolaan akuakultur yang lebih efisien dan cerdas. Sistem ini tidak hanya memungkinkan pemantauan dan pengendalian otomatis berbasis data real-time, tetapi juga menyediakan prediksi berbasis data historis untuk membantu pengambilan keputusan preventif dalam menjaga stabilitas kualitas air.

Untuk penelitian selanjutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter kualitas air tambahan seperti pH dan oksigen terlarut, serta menerapkan pendekatan hybrid deep learning seperti CNN-LSTM untuk meningkatkan akurasi prediksi dan ketahanan terhadap noise pada data lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Potensi Utama atas kesempatan dan dukungan yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan, nasihat, serta bimbingan yang sangat berharga.

Selain itu, penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua, saudara, serta sahabat yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan tanpa henti. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat serta menjadi kontribusi nyata bagi pengembangan teknologi akuakultur berbasis Internet of Things (IoT).

REFERENSI

- [1] Z. Munawar Et Al., *Fundamental Internet Of Things (Iot): Memahami Teori Dan Penerapannya*. Bandung: Kaizen Media Publishing, 2023.

- [2] Munguti, J.M., Kirimi, J.G., Obiero, K.O., Ogello, E.O., Kyule, D.N. Liti, D.M. and Musalia, L.M. (2021). Aqua-feed wastes: Impact on natural systems and practical mitigations- A review. *Journal of Agricultural Science*, 13(1): 111– 121. [10.5539/jas.v13n1p111](https://doi.org/10.5539/jas.v13n1p111)
- [3] Sahar Ahmadisakha and Vasilios Andrikopoulos. 2024. Architecting for sustainability of and in the cloud: A systematic literature review. *Information and Software Technology* 171 (2024), 107459. <https://doi.org/10.1016/J.INFSOF.2024.107459>
- [4] Rahmad, Iwan Fitrianto, Adil Setiawan, and Robby Ardyanto Marsudi. 2022. “Monitoring Suhu Air Aquarium Untuk Ikan Hias Berbasis Internet of Things.” *BEEES: Bulletin of Electrical and Electronics Engineering* 2(3): 92–97. [10.47065/bees.v2i3.1360](https://doi.org/10.47065/bees.v2i3.1360)
- [5] Alfonso, S. (2021). Temperature increase and its effects on fish stress physiology: A review. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 1961–1978. <https://doi.org/10.1111/raq.12586>
- [6] Azhar, A. R., Setiawan, D. A., Yasmin, N. A. A., Putri, T. A., & Nama, G. F. (2024). Sistem Monitoring Kapasitas Air Dan Pengisian Otomatis Berbasis Iot Menggunakan Modul Esp8266. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 218–228. <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3966>
- [7] Hidayat, M. S. ., Pambudi, D. S. A. ., & Nugraha, A. T. (2022). Sistem Monitoring Air Compressor pada Sistem Pendistribusian Udara Berbasis IoT. *Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*, 12(02), 126–140. <https://doi.org/10.47709/elektriese.v12i02.1944>
- [8] Savitri, C. E., & PARAMYTHA, N. (2022). Sistem Monitoring Parkir Mobil berbasis Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Ampere*, 7(2), 135–144. <https://doi.org/10.31851/ampere.v7i2.9199>
- [9] Hu, Z., Zhang, Y., Zhao, Y., Xie, M., Zhong, J., Tu, Z., & Liu, J. (2019). A Water Quality Prediction Method Based on the Deep LSTM Network Considering Correlation in Smart Mariculture. *Sensors*, 19(6), 1420. <https://doi.org/10.3390/s19061420>
- [10] Lindholm-Lehto, P. (2023) Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 3, 113–131. <https://doi.org/10.1002/aff2.102>
- [11] Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2023). Resource Use and Pollution Potential in Feed-Based Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 32(2), 306–333. <https://doi.org/10.1080/23308249.2023.2258226>
- [12] Liu, P., Wang, J., Sangaiah, A. K., Xie, Y., & Yin, X. (2019). Analysis and prediction of water quality using LSTM deep neural networks in IoT environment. *Sustainability*, 11(7), 2058. <https://doi.org/10.3390/su11072058>

-
- [13] Nadeem, M. F., et al. (2022). A review on smart aquaculture monitoring using IoT and machine learning techniques. *Journal of Cleaner Production*, 358, 131567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131567>
- [14] Nur Fathoni, Ali & Khotimah, Khusnul. (2023). Rancang Bangun Smart Home berbasis IoT Menggunakan Telegram Messenger Bot dan NodeMCU ESP 32. *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*. 9. 34-43. 10.15575/telka.v9n1.34-43. doi: [10.15575/telka.v9n1.34-43](https://doi.org/10.15575/telka.v9n1.34-43)
- [15] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>