

SISTEM MANAJEMEN AKUAKULTUR BIOFLOK MENGGUNAKAN LoRa BERBASIS IoT

Mohamad Fathurahman¹, Zulhelman² dan Muhammad Arif Rahman³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

¹mohamad.fathurahman@elektro.pnj.ac.id, ²zulhelman@elektro.pnj.ac.id,

³muhammad.arifrahman.te18@mhs.pnj.ac.id

Abstrak

Teknologi akuakultur bioflok merupakan metode menjaga kualitas air dalam budidaya ikan. Penjagaan kualitas air dilakukan dengan mengubah nitrogen anorganik menjadi nitrogen organik yang tidak bersifat toksik menggunakan bakteri. Bakteri ini dapat mengkonversi limbah organik menjadi kumpulan mikroorganisme berbentuk flok yang dimanfaatkan oleh ikan sebagai sumber makanan. Namun metode bioflok memerlukan pemantauan air secara teratur untuk menjaga kualitas air. Oleh karena itu pada penelitian ini dirancang bangun sebuah sistem yang dapat menjaga kualitas air pada kolam ikan bioflok berdasarkan suhu air, TDS air, dan pH air menggunakan komunikasi Long Range agar dapat memantau dan mengontrol kolam dari jarak jauh. Alat yang digunakan untuk komunikasi Long Range adalah LoRa RFM95W. Hasil pengujian pengiriman data menggunakan LoRa dalam keadaan LOS dapat diterima hingga jarak 300 meter dengan nilai RSSI adalah -100dBm. Semua sensor dapat bekerja dengan baik seperti sensor suhu air, TDS air, dan pH air yang dapat membaca perubahan nilai yang terjadi pada air kolam bioflok tiap waktu. Selain itu, pemberian pakan ikan secara otomatis dapat dilakukan sesuai jadwal yang ditentukan dengan bantuan modul RTC. Respon yang diberikan saat kondisi air tidak dalam batas normal juga dapat berjalan baik dengan menyalakan buzzer dan menampilkan notifikasi pada aplikasi.

Kata kunci : akuakultur, bioflok, LoRa, kualitas air, aplikasi mobile

1. Pendahuluan

Teknologi bioflok dianggap sebagai revolusi biru baru dalam akuakultur. Teknik ini didasarkan pada produksi mikroorganisme *in situ* yang memainkan tiga peran utama: (i) pemeliharaan kualitas air, melalui penyerapan senyawa nitrogen yang menghasilkan protein mikroba *in situ*; (ii) nutrisi, meningkatkan kelayakan kultur dengan mengurangi rasio konversi pakan dan penurunan biaya pakan; dan (iii) kompetisi dengan patogen. Agregat (bioflok) adalah sumber makanan alami yang kaya *protein-lipid* yang tersedia secara *in situ* selama 24 jam per hari karena adanya interaksi yang kompleks antara bahan organik, substrat fisik, dan berbagai macam mikroorganisme.(Khairul Alam, 2020).

Saat ini polusi air terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi manusia. Pada kondisi seperti ini pemantauan kualitas air secara real time dari akuakultur menghadapi tantangan serius akibat dari efek pemanasan global dan terbatasnya sumber daya air. Oleh karena itu sangat diperlukan untuk mencari solusi guna mendapatkan sistem monitoring kualitas air akuakultur yang efektif dan efisien(Sanya, Alawi and Eugenio, 2022).

Industri akuakultur tradisional menghabiskan banyak tenaga untuk memantau dan menjaga kualitas

air. Sistem pemantauan kualitas air otomatis dapat secara efektif mengurangi beban pemantauan kualitas air bagi petani(Sanya, Alawi and Eugenio, 2022).

Teknologi IoT saat ini memegang peranan penting dalam industri akuakultur/perikanan yang dapat mengamati dan mengendalikan beberapa parameter kualitas air secara real time dan dari jarak jauh(Junaidi and Kartiko, 2020). Budidaya ikan akuakultur berbasis IoT adalah solusi yang terbaik untuk mengatasi beberapa masalah. Dengan penggunaan teknologi IoT maka pemakaian sensor untuk mengukur kualitas air akan sangat mudah diintegrasikan dengan sistem komunikasi otomatis(Ahamed and Ahmed, 2021).

Teknologi pemantauan kualitas air akuakultur berbasis IoT telah banyak dikembangkan dengan teknologi internet/WiFi, Bluetooth Low Energy dan XBee(Hsieh *et al.*, 2020)(Karim *et al.*, 2021)(Mugwanya *et al.*, 2021)(Tuan, 2019)(Junaidi and Kartiko, 2020). Semakin luasnya area pengelolaan akuakultur yang menggunakan teknologi IoT, diperlukan sistem komunikasi data yang handal sekaligus murah dan berdaya rendah. Untuk menghubungkan perangkat IoT, jaringan nirkabel sangat diperlukan guna menyediakan jaringan dan cakupan komunikasi yang luas dengan efisiensi energi yang tinggi. Persyaratan di atas telah menyebabkan cabang baru jaringan komunikasi

teknologi IoT, yang disebut Jaringan Area Luas Daya Rendah (*Low Power Wireless Area Network*) LPWAN(Haruo *et al.*, 2020). Diantara teknologi LPWAN, jaringan *Long Range* (LoRa) adalah teknologi sumber terbuka (*open source*) yang memungkinkan pengaturan jaringan otonom dengan biaya rendah. Jaringan LoRa telah digunakan secara luas untuk aplikasi dan penelitian(Shanmuga Sundaram, Du and Zhao, 2020).

2. Teknologi LoRa

Di bidang pertanian: parameter seperti suhu, kelembaban, pH dan kandungan nutrisi dapat diukur dan dianalisis menggunakan sistem IoT untuk mengoptimalkan hasil. Penting untuk dicatat bahwa setiap aplikasi membutuhkan pendekatan yang berbeda dalam penggunaan teknologi untuk desain perangkat IoT dan protokol komunikasi yang digunakan. Misalnya dalam hal pertanian, node harus berkomunikasi dalam jarak jauh serta memiliki masa pakai baterai yang lama. Dalam hal ini, LPWAN mewakili solusi praktis untuk menyediakan koneksi IoT yang hemat biaya(Saban *et al.*, 2021)(Li and Cao, 2022).

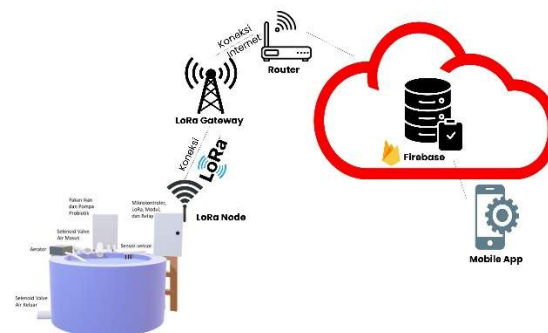
Sistem *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN) bertujuan untuk mengatasi tantangan IoT. Bandwidth rendah dan komunikasi non-kritis diperlukan dalam jangkauan komunikasi yang jauh serta konsumsi daya rendah(Raza, Kulkarni and Sooriyabandara, 2017). Kecepatan transmisi data pada LPWAN dapat mencapai ratusan bit per detik, sementara jangkauan komunikasinya dapat mencapai rentang kilometer(Widiyanto *et al.*, 2018). Baterai masa pakai adalah faktor kunci untuk sistem IoT, LPWAN menjanjikan baterai yang tahan lama berkat konsumsi daya yang rendah teknologi LPWAN. LPWAN memiliki topologi hop tunggal di mana perangkat akhir (node) berkomunikasi langsung dengan gerbang, tetapi mereka tidak dapat berkomunikasi secara langsung di antara mereka. Gateway bertindak sebagai jembatan antara LPWAN dan server cloud. Teknik modulasi yang digunakan dalam LPWAN memungkinkan node sensor untuk berkomunikasi dengan gateway bahkan di bawah Signal to Noise Ratio (SNR) yang rendah dan Nilai Indikator Kekuatan Sinyal (RSSI) yang diterima(Bhawiyuga *et al.*, 2019). Ada beberapa teknologi LPWAN seperti LoRa, SigFox, RPMA, NB-IoT, dan lain-lain. Teknologi LoRa telah menerima banyak minat dari penelitian baru-baru ini. Teknologi ini cocok untuk penyebaran jaringan skala besar di lingkungan yang besar, yang dapat dicakup oleh satu gerbang saja(Atta, 2017).

3. Deskripsi Sistem

Penelitian bersifat eksperimental dengan pendekatan penelitian berupa perancangan. Subjek pada penelitian ini adalah sistem budidaya ikan air

tawar/akuakultur seperti kolam pemeliharaan bioflok bertempat di Bioflok Nufishery yang berlokasi di Jalan KH. Azizi No. 19 RT 008 RW 007 Jati Cempaka Pondok Gede Kota Bekasi.

Rancangbangun sistem secara umum yang dibuat tampak pada Gambar 1. Sistem manajemen kolam ikan bioflok ini digunakan dalam pembudidaya ikan dengan memantau kondisi air kolam dan mengatur setiap aktuator serta pakan ikan yang terhubung dengan aplikasi android. Alat ini dilengkapi dengan LoRa sebagai media transmisinya, sehingga dapat digunakan pada daerah yang tidak memiliki akses WiFi dan jangkauan pengiriman datanya cukup luas. Peletakkan alat ini terbagi menjadi dua bagian. Pada bagian kolam akan diletakkan LoRa Node Sensor yang terdiri dari ESP32, LoRa sensor, RTC, sensor suhu air, sensor pH air, sensor TDS air, sensor water level dan sensor ultrasonik. Kemudian terdapat relay untuk menyalakan solenoid valve, aerator, pompa probiotik, buzzer, dan pompa pelontar pakan di tempat pakan ikan. Sedangkan pada LoRa Gateway yang tersambung WiFi terdapat ESP32, LoRa, LCD, dan buzzer. Alat ini diletakkan pada tempat yang berbeda seperti di dalam ruangan yang memiliki akses internet WiFi.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Secara garis besar berdasarkan Gambar 1, sistem akuakultur ada pada sisi end devices yang berhubungan langsung dengan sensor untuk memantau kualitas air yakni diantaranya,

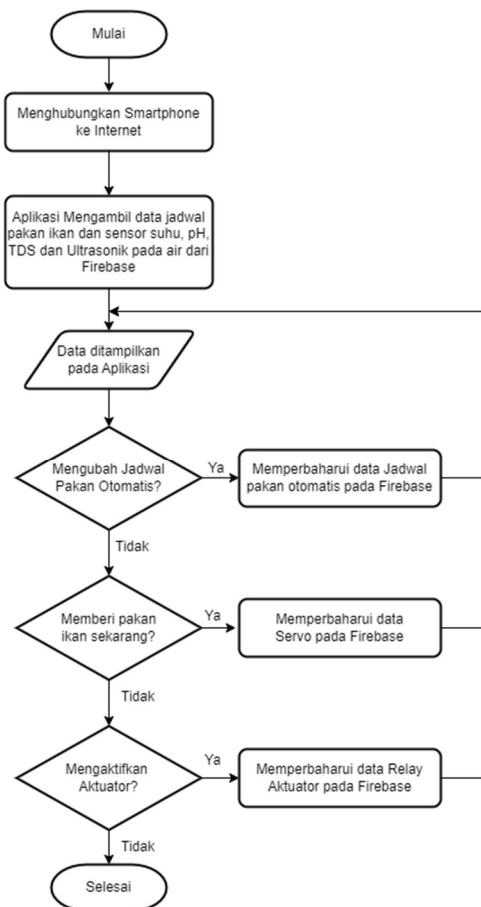
1. Sensor Suhu
2. Sensor pH air
3. Sensor turbidity/TDS/kekeruhan atau tingkat zat terlarut dalam air
4. Sensor oksigen terlarut untuk mengukur kadar oksigen dalam air

Kerangka kerja diperlukan agar supaya penelitian memiliki pedoman dan arah kerja yang jelas dalam mencapai tujuan penelitian. Secara garis besar kerangka kerja penelitian ini mengikuti(Hsieh *et al.*, 2020) dengan implementasi pada kolam bioflok sebagai berikut,

1. Modul yang dibuat harus dapat mengukur parameter kualitas air berikut : pH, terlarut oksigen, suhu dan tingkat kekeruhan,
2. Modul komputasi harus dapat melakukan konversi analog-ke-digital dan pengepakan data.
3. Modul komunikasi harus dapat mengirim mengemas data ke node gateway menggunakan modul LoRa.

Pada pembuatan sistem manajemen kolam ikan bioflok menggunakan LoRa berbasis IoT dibutuhkan beberapa perangkat keras dengan diagram blok seperti tampak pada Gambar 1. Semua sensor terhubung dengan NodeMCU ESP32 untuk mengatur pembacaan nilai yang nantinya akan dikirimkan ke LoRa Gateway. LoRa Gateway akan meng-upload data sensor ke database dan ditampilkan pada aplikasi android. Pada aplikasi juga dapat mengirimkan perintah untuk mengatur aktif atau tidaknya aktuator pada LoRa Node Sensor.

NodeMCU akan membaca data status relay dan jadwal pakan ikan pada database firebase. Data-data tersebut kemudian akan dikirimkan menuju LoRa node sensor menggunakan transmisi LoRa untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi android. Diagram alir dari aplikasi android ditunjukkan pada Gambar 2 berikut,



Gambar 2. Diagram Alir Aplikasi Android

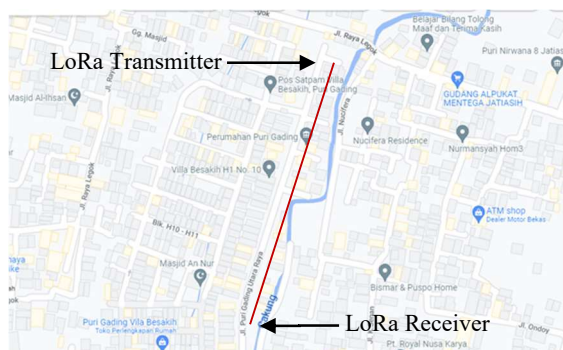
Pada diagram alir bagian software pada Gambar 2 di atas, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan. Aplikasi akan menghubungkan ke internet. Kemudian aplikasi akan mengambil data nilai sensor suhu, pH, TDS, water level, ultrasonik dan jadwal pakan ikan pada database firebase. Data-data tersebut akan ditampilkan pada halaman aplikasi. Kemudian apabila ingin mengubah jadwal pakan ikan, memberi pakan ikan manual, dan mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator, maka perubahan data tersebut akan di update pada database firebase.

4. Pengujian Sistem

4.1 Pengujian Kualitas Penerimaan Sinyal LoRa

Kualitas penerimaan sinyal berdasarkan pada daya jangkau perangkat LoRa ketika melakukan proses transmisi atau pengiriman data. Pengujian kekuatan sinyal dilakukan antara dua perangkat LoRa pada kondisi LOS (Line of Sight) dan NLOS (Non-Line of Sight). Pengujian ini dilakukan untuk melihat kualitas LoRa dalam menerima sinyal dari transmitter dengan melihat parameter Receive Signal Strength Indicator (RSSI) pada layar LCD. Pengujian akan menggunakan dua perangkat LoRa yang berfungsi sebagai transmitter dan receiver dengan frekuensi yang digunakan adalah 921 MHz dan jenis komunikasi point to point.

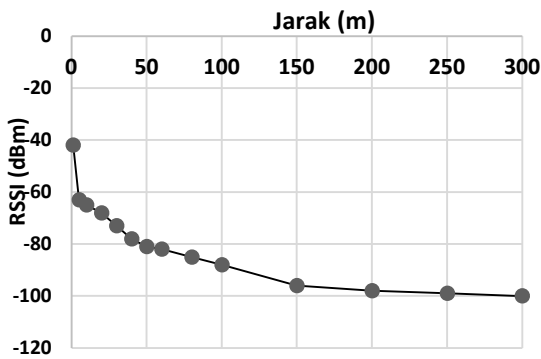
Pada kondisi LOS, pengujian dilakukan dengan menempatkan antara LoRa transmitter dan LoRa receiver dengan ketinggian sekitar 120 cm dari permukaan tanah tanpa adanya penghalang apapun diantara kedua perangkat tersebut. Pada Gambar 3 berikut merupakan lokasi pengujian kualitas penerimaan sinyal LoRa pada kondisi LOS (Line of Sight).



Gambar 3. Lokasi Pengujian LoRa Kondisi LOS

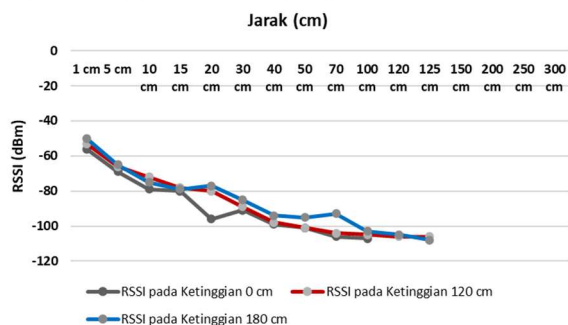
Berdasarkan pengujian dan pengukuran yang telah dilakukan dapat terlihat pada setiap jarak pengujian nilai kekuatan sinyal atau RSSI antar kedua perangkat LoRa masih tergolong kedalam kategori bagus dengan RSSI yang didapat yakni -100 dBm pada jarak 300 m dan masih di atas nilai minimum standar dari RSSI yaitu -100 dBm seperti tampak pada Gambar 4. Pada kondisi NLOS, pengujian dilakukan dengan menempatkan LoRa transmitter

dan LoRa receiver dengan adanya penghalang di antara kedua perangkat tersebut. Penghalang dapat berupa bangunan, pepohonan, mobil, tembok, dan lain sebagainya. Pengujian dilakukan di lokasi mitra budidaya ikan bioflok.



Gambar 4. Grafik Pengujian Jarak (m) terhadap Kekuatan Sinyal (dBm) LoRa kondisi LOS

Hasil pengujian terhadap kualitas penerimaan kuat sinyal LoRa dengan kondisi NLOS atau adanya penghalang antara perangkat LoRa transmitter dan LoRa receiver ditunjukkan pada Gambar 5 yakni grafik dari kuat sinyal atau RSSI yang diterima LoRa receiver dengan kondisi NLOS pada setiap jarak dengan ketinggian receiver yang berbeda berikut,



Gambar 5. Grafik Pengujian Jarak (cm) terhadap Kekuatan Sinyal (dBm) LoRa kondisi NLOS untuk Berbagai Ketinggian Receiver (Gateway)

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Fungsional Sistem pada Kolam Bioflok

Waktu	Suhu	TDS	PH	Water Level	Status pada Aplikasi	Status Buzzer
09:33	27,87	715	7,24	Rendah	Diterima	OFF
09:38	27,87	782	6,87	Rendah	Diterima	OFF
10:22	27,94	931	6,58	Tinggi	Diterima	OFF
10:41	27,94	948	6,59	Tinggi	Diterima	OFF
12:23	28,06	1003	7,03	Tinggi	Diterima	ON
12:34	28,06	1006	6,91	Tinggi	Diterima	ON
13:08	28,12	1011	6,97	Tinggi	Diterima	ON
13:31	28,18	1018	7,03	Tinggi	Diterima	ON

Pada saat nilai TDS melebihi angka 1000 maka buzzer akan menyala. Status pengiriman data berhasil diterima pada aplikasi dan buzzer masih dalam

Berdasarkan Gambar 5 di atas, bila jarak LoRa receiver semakin menjauhi LoRa transmitter dan memiliki ketinggian receiver yang rendah maka akan semakin kecil nilai RSSI yang didapatkan. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal yang diterima semakin lemah yang dapat mengakibatkan berkurangnya kemampuan receiver dalam menerima data yang dikirimkan dan dapat juga mengakibatkan hilangnya data saat proses transmisi. Sehingga pada jarak diatas 150 m hingga jarak 300 m LoRa receiver sudah tidak dapat menangkap sinyal akibat daya yang diterima terlalu lemah. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di tempat mitra ini dapat diketahui bahwa jarak maksimal pemasangan LoRa receiver di tempat tersebut berada pada jarak 100 meter dengan ketinggian paling bagus adalah 180 cm.

4.2 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian ini untuk mengetahui apakah sistem manajemen kolam ikan bioflok ini dapat bekerja dengan baik dengan penerapan secara langsung pada kolam ikan bioflok. Pengujian dilakukan selama satu hari dengan rentang waktu pengambilan yang berbeda untuk mengetahui perubahan kondisi air kolam ikan bioflok pada tiap waktu. Tabel 1 menampilkan data yang didapatkan selama proses pengujian berlangsung. Dapat dilihat pada pukul 09:33 nilai pembacaan masing-masing sensor masih berada dalam batas nilai normal dengan status pengiriman data berhasil diterima pada aplikasi. Pada pengujian pertama ini buzzer tidak aktif dan notifikasi tidak tampil pada mobile application.

Kemudian pada percobaan selanjutnya pukul 10:22 terjadi penurunan nilai pH hingga 6,58 dan kenaikan nilai TDS sampai 931 ppm. Hal ini terjadi karena adanya pemberian pakan yang mengandung zat-zat yang bersifat asam dan menaikkan jumlah padatan terlarut dalam air kolam bioflok. Namun nilai pembacaan masing-masing sensor pada percobaan ini masih dalam batas normal.

keadaan menyala karena TDS air masih di atas batas normal.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh perubahan kondisi pH dan TDS air saat

pakan ikan diberikan. Sedangkan pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa semua fungsi yang terdapat pada sistem ini telah sesuai dengan hasil perancangan dan implementasi. Status pengiriman data dari LoRa node sensor ke aplikasi dan sebaliknya pada pengujian ini berhasil dilakukan dengan baik yang membuktikan bahwa pemrograman pada LoRa node sensor, LoRa gateway, dan aplikasi berjalan sesuai dengan baik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

No.	Fungsi	Hasil Pengujian
1	Membaca nilai suhu air, TDS air, pH air, dan ketinggian air	Berhasil
2	Mengambil data dari NodeMCU ESP32 dan dikirimkan menggunakan LoRa menuju LoRa gateway	Berhasil
3	Menerima data dari LoRa node sensor	Berhasil
4	Mengirim data dari LoRa gateway ke database	Berhasil
5	Menerima data dari database ke aplikasi	Berhasil
6	LoRa node sensor dapat menerima data dari aplikasi	Berhasil

4.3 Pengujian Aplikasi Android dan Database

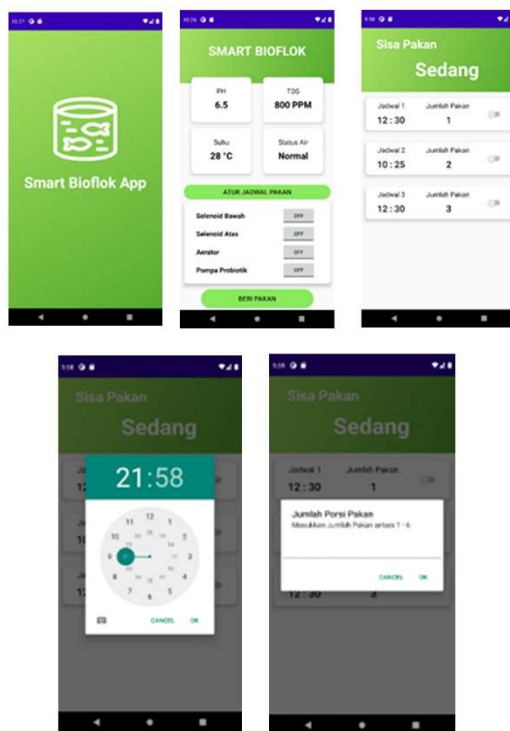
Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa aplikasi android dapat terhubung dengan NodeMCU menggunakan database, menampilkan data dari sensor suhu air, TDS air, pH air, water level, dan ultrasonik, mengontrol aerator, pelontar pakan ikan, solenoid valve air masuk, solenoid valve air keluar, dan pompa probiotik.

Pengujian dilakukan menggunakan smartphone yang telah terinstall aplikasi Smart LoRa Bioflok yang menampilkan data suhu air, TDS air, pH air, ketinggian air, sisa pakan. Terdapat juga tombol untuk menyalakan relay dan mengatur jadwal pemberian pakan ikan.

Data yang disimpan ke Firebase merupakan data dari sensor-sensor yang terdapat pada LoRa Node Sensor, data jadwal pemberian pakan, dan data trigger untuk menyalakan aktuator. Selanjutnya data yang ditampilkan di database juga dikirimkan ke aplikasi android secara realtime. Gambar 6 menunjukkan tampilan halaman pada aplikasi smart LoRa bioflok.

Pada Gambar 6 menampilkan data suhu air, TDS air, pH air, ketinggian air dari kolam ikan bioflok dan sisa pakan dari sensor ultrasonik yang terdapat pada tempat pakan ikan. Ketika tombol aerator, solenoid valve air masuk atau solenoid valve air keluar ditekan maka tulisan pada tombol berubah menjadi "ON" dan akan mengirimkan trigger data 1 untuk menyalakan relay aerator pada NodeMCU. Sedangkan Ketika tombol tersebut ditekan kembali maka tulisan pada tombol kembali menjadi "OFF"

dan akan mengirimkan trigger data 0 untuk menonaktifkan relay aktuator.



Gambar 6. Halaman Aplikasi Smart LoRa Bioflok

Kemudian apabila tombol beri pakan atau pompa probiotik ditekan maka akan mengirimkan trigger data 1 untuk menyalakan relay aktuator selama 15 detik. Setelah itu, aplikasi secara otomatis akan mengirimkan trigger data 0 untuk menonaktifkan relay aktuator.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, pada smartphone yang telah dipasang aplikasi smart LoRa bioflok dapat menampilkan data dari sensor suhu air, TDS air, pH air, water level dan ultrasonik. Nilai sensor yang ditampilkan pada aplikasi akan selalu diperbarui selama aplikasi terhubung ke internet. Selain itu, tombol aerator, pemberian pakan manual, solenoid valve air masuk, solenoid valve air keluar, dan pompa probiotik pada aplikasi juga dapat mengirimkan trigger data untuk mengaktifkan atau menonaktifkan relay aktuator.

5. Kesimpulan dan Saran

Pada penelitian ini telah dirancang-bangun sistem manajemen akuakultur bioflok dengan komunikasi LoRa. Sistem yang telah dibuat ini telah mampu,

1. Node sensor dan LoRa gateway dapat berkomunikasi 2 arah secara half duplex. Pada pengiriman data dengan jarak 300 meter dalam kondisi LOS didapat nilai RSSI di LoRa receiver sebesar -100 dBm. Level sinyal ini masih dalam kategori baik karena proses komunikasi LoRa berhasil dilakukan, jarak

maksimal penempatan LoRa di lokasi mitra budidaya ikan bioflok berada pada jarak 100 m dengan ketinggian optimal LoRa receiver adalah 180 cm.

2. Semua sensor dapat bekerja dengan baik seperti sensor suhu air, TDS air, dan pH air yang dapat membaca perubahan nilai yang terjadi pada air kolam bioflok tiap waktu. Selain itu, pemberian pakan ikan secara otomatis dapat dilakukan sesuai jadwal yang ditentukan dengan bantuan modul RTC. Respon yang diberikan saat kondisi air tidak dalam batas normal juga dapat berjalan baik dengan menyalakan buzzer dan menampilkan notifikasi pada aplikasi.
3. Pemantauan dan pengendalian kolam melalui aplikasi android yang dibuat juga telah berfungsi sesuai yang diharapkan.

Meskipun sistem secara keseluruhan telah berfungsi dengan baik, untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan optimasi pada jaringan LoRa agar supaya dapat menjangkau komunikasi yang lebih jauh sesuai karakteristiknya.

Daftar Pustaka:

- Ahamed, I. and Ahmed, A. (2021) 'Design of Smart Biofloc for Real-Time Water Quality Management System', in *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, pp. 298–302. doi: 10.1109/ICREST51555.2021.9331166.
- Atta, R. (2017) *Shift in the Telecom Industry - why to use LoRa Technology.!*, NETMANIAS. Available at: <https://www.netmanias.com/en/post/blog/12048/iot-lora/shift-in-the-telecom-industry-why-to-use-lora-technology>.
- Bhawiyyuga, A. *et al.* (2019) 'LoRa-MQTT Gateway Device for Supporting Sensor-to-Cloud Data Transmission in Smart Aquaculture IoT Application', in *2019 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, pp. 187–190. doi: 10.1109/SIET48054.2019.8986124.
- Haruo, Y. *et al.* (2020) 'Development and Evaluation of Environmental / Growth Observation Sensor Network System for Aquaponics', in *2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCE46568.2020.9043018.
- Hsieh, C. *et al.* (2020) 'The Preliminary Design of Water Quality Monitor System for the Ecological Pond based on LoRaWAN', pp. 2020–2022. doi: 10.1109/IS3C50286.2020.00100.
- Junaidi, A. and Kartiko, C. (2020) 'Design of Pond Water Quality Monitoring System Based on Internet of Things and Pond Fish Market in Real-Time to Support the Industrial Revolution 4.0', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 771(1), p. 12034. doi: 10.1088/1757-899X/771/1/012034.
- Karim, S. *et al.* (2021) 'IoT Based Smart Fish Farming Aquaculture Monitoring System', *International Journal on Emerging Technologies*, 12(2), pp. 45–53. Available at: www.researchtrend.net.
- Khairul Alam, M. (2020) *Biofloc Monitoring System (Powered By: Wio Terminal), Biofloc fish project monitoring*. Available at: <https://www.hackster.io/taifur/biofloc-monitoring-system-powered-by-wio-terminal-b22b43>.
- Li, C. and Cao, Z. (2022) 'LoRa Networking Techniques for Large-scale and Long-term IoT: A Down-to-top Survey', *ACM Computing Surveys*, 55(3), pp. 1–36. doi: 10.1145/3494673.
- Mugwanya, M. *et al.* (2021) 'Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species : A Review', pp. 1–15.
- Raza, U., Kulkarni, P. and Sooriyabandara, M. (2017) 'Low Power Wide Area Networks: An Overview', *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(2), pp. 855–873. doi: 10.1109/COMST.2017.2652320.
- Saban, M. *et al.* (2021) 'Experimental analysis of IoT networks based on LORA/LoRAWAN under indoor and outdoor environments: Performance and limitations', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier Ltd, 54(4), pp. 159–164. doi: 10.1016/j.ifacol.2021.10.027.
- Sanya, W. M., Alawi, M. A. and Eugenio, I. (2022) 'Design and development of Smart Water Quality Monitoring System Using IoT Design and development of Smart Water Quality Monitoring System Using IoT', (March). doi: 10.31695/IJASRE.2022.8.3.1.
- Shanmuga Sundaram, J. P., Du, W. and Zhao, Z. (2020) 'A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solutions, and Open Issues', *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 22(1), pp. 371–388. doi: 10.1109/COMST.2019.2949598.
- Tuan, K. N. (2019) 'A Wireless Sensor Network for Aquaculture Using Raspberry Pi, Arduino and Xbee', in *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, pp. 235–238. doi: 10.1109/ICSSE.2019.8823104.
- Widiyanto, E. D. *et al.* (2018) 'LoRa QoS Performance Analysis on Various Spreading Factor in Indonesia', in *2018 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISESD.2018.8605471.