

IMPLEMENTASI SISTEM IOT BERBASIS LORA DAN ARIMA UNTUK OPTIMASI DISTRIBUSI AIR BERSIH

Fariz Lazuardi¹⁾, dan Zulhelman²⁾

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

Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy Kampus UI, Depok, Jawa Barat, 16425, Indonesia

e-mail: fariz.lazuardi.te21@mhswn.pnj.ac.id¹⁾, zulhelman@elektro.pnj.ac.id²⁾

ABSTRACT

The current clean water distribution system is still operated manually, which is considered inefficient and prone to delays in the distribution process. Therefore, this study aims to develop a water distribution system based on the Internet of Things (IoT), integrating LoRa communication and ARIMA predictive modeling. The system consists of three ESP32 nodes that communicate with each other via a LoRa network: node 1 functions as a sensor data collector, the gateway node transmits the data to Firebase, and node 2 controls the water pump via a relay. A JSN-SR04T sensor is used to measure water level, while a Water Flow Sensor detects the flow rate. The ARIMA algorithm is implemented to predict water usage patterns based on historical data. Test results show that the JSN-SR04T sensor accurately detects changes in water level with an error of less than 1 cm compared to actual measurements, and the water level percentage displayed on the application aligns with manual calculations. LoRa communication performs optimally at a distance of 10 meters with an RSSI of -47 dBm and SNR of 9.75 dB, but degrades at 100 meters (RSSI -121 dBm, SNR -6.25 dB). The ARIMA model yields prediction errors ranging from 3.81% to 23.13%. This system successfully provides real-time monitoring and water usage prediction to support more efficient and optimized water distribution.

Keywords: ARIMA, Long Range, Water Flow Sensor, JSN-SR04T, IoT

ABSTRAK

Sistem pendistribusian air bersih yang masih dilakukan secara manual dinilai kurang efisien dan berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam proses distribusi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem distribusi air berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan komunikasi LoRa dan pemodelan prediktif ARIMA. Sistem ini terdiri dari tiga node ESP32 yang saling terhubung melalui jaringan LoRa, yaitu node 1 yang bertugas mengumpulkan data sensor, node gateway yang berfungsi mengirim data ke Firebase, dan node 2 yang mengontrol pompa melalui relay. Sensor JSN-SR04T digunakan untuk mengukur ketinggian air, sementara Water Flow Sensor digunakan untuk mendeteksi debit aliran. Algoritma ARIMA digunakan untuk memprediksi pola penggunaan air berdasarkan data historis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor JSN-SR04T mampu membaca perubahan permukaan air secara akurat dengan selisih kurang dari 1 cm dibandingkan data aktual, dan hasil persentase ketinggian air yang ditampilkan dalam aplikasi sesuai dengan perhitungan manual. Komunikasi LoRa menunjukkan performa optimal pada jarak 10 meter dengan RSSI -47 dBm dan SNR 9,75 dB, namun mengalami penurunan pada jarak 100 meter (RSSI -121 dBm, SNR -6,25 dB). Selain itu, model ARIMA menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang bervariasi antara 3,81% hingga 23,13%. Sistem ini terbukti mampu melakukan pemantauan secara real-time dan memberikan prediksi penggunaan air untuk mendukung distribusi yang lebih optimal.

Kata Kunci: ARIMA, LoRa, Sensor Arus Air, JSN-SR04T, IoT

I. PENDAHULUAN

AIR bersih merupakan kebutuhan utama dalam aktivitas sehari-hari, terutama bagi gedung-gedung perkantoran. Pendistribusian air yang efisien sangat penting untuk menjamin ketersediaan air, mengoptimalkan biaya operasional, serta mendukung pelestarian sumber daya air. Namun, saat ini masih banyak gedung-gedung perkantoran yang melakukan pendistribusian air masih dilakukan secara manual, sehingga kurang efektif dan memakan waktu. Untuk mengatasi kurangnya pengawasan secara real-time maka digunakan teknologi Internet of Things (IoT). Teknologi IoT telah banyak digunakan sebagai solusi yang inovatif dalam berbagai bidang, termasuk pendistribusian sumber daya air, misalnya pada Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Penggunaan Air PDAM Berbasis Internet of Things [1],

Hasil pengujian pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan IoT dapat membantu untuk monitoring dan controlling secara real-time. Namun, tantangan dalam implementasi IoT adalah keterbatasan jaringan komunikasi yang andal, terutama di lingkungan gedung perkantoran dengan banyak penghalang sinyal. Untuk mengatasi hal ini, teknologi komunikasi Long Range (LoRa) menjadi pilihan tepat karena memiliki daya jangkauan luas, konsumsi daya rendah, dan kemampuan menembus hambatan. Dengan LoRa, sistem dapat berfungsi secara optimal tanpa memerlukan infrastruktur jaringan yang kompleks. Selain itu, untuk mendukung efisiensi dan keakuratan dalam pengelolaan air bersih, diperlukan sistem yang mampu melakukan analisis prediktif terhadap konsum air. Dalam hal ini, metode AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA) digunakan untuk melakukan peramalan penggunaan air berdasarkan data

historis. Dengan adanya prediksi ini, sistem dapat mengoptimalkan penggunaan air dengan mengatur waktu operasional pompa, menghindari pemborosan air dengan mengatur waktu operasional pompa, menghindari pemborosan, serta memberikan peringatan dini terhadap kemungkinan kekurangan atau kelebihan pasokan air. Dengan menerapkan sistem IoT berbasis LoRa dan analisis prediktif menggunakan ARIMA, gedung-gedung perkantoran dapat meningkatkan efisiensi operasional, memastikan ketersediaan air yang optimal, serta mendukung program digitalisasi yang ada.

II. TINJAUAN LITERATUR

A. ARIMA

Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) adalah metode yang biasa disebut dengan metode Box-Jenkins adalah metode yang digunakan untuk peramalan jangka pendek dengan asumsi bahwa data deret waktu yang digunakan harus stasioner yang artinya rata-rata variasi dari data yang dimaksud harus bersifat konstan [2]. ARIMA bekerja dengan menganalisis pola dalam bentuk historis untuk memprediksi nilai masa depan. Metode ARIMA banyak dimanfaatkan dalam proses peramalan kebutuhan energi listrik. ARIMA sendiri juga akan digunakan pada proyek ini untuk menampilkan perkiraan pengeluaran dan penggunaan air berdasarkan debit air yang mengalir data data historis yang tersimpan.

Model ARIMA merupakan model kombinasi dari autoregressive (AR) berorde p dan proses moving average (MA) berorde q . Pembeda berorde d dilakukan jika deret waktu tidak stasioner dalam rata-rata. Model ARIMA (p, d, q) dapat ditulis sebagai berikut [3].

$$\varphi_p(B)(1-B)^d Y_t = \theta_q(B) a_t \quad (1)$$

Model ARIMA yang mengakomodasi efek musiman dalam pengamatan waktu ke- t dinotasikan dengan ARIMA (p, d, q)^s. Secara umum, mode ARIMA musiman dapat ditulis dalam bentuk:

$$\varphi_p(B^S)(1-B^S)^D Y_t = \theta_q(B^S) a_t \quad (2)$$

Jika terdapat efek non-musiman yang efek musiman, maka model yang terbentuk adalah model multiplikatif untuk ARIMA (p, d, q) (P, D, Q) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varphi_p(B)\varphi_p(B^S)(1-B)^D(1-B^S)^D Y_t = \theta_q(B)\theta_q(B^S) a_t \quad (3)$$

Dalam metode ARIMA Knowledge Discovery in Database (KDD) merupakan suatu proses yang melibatkan beberapa tahap untuk mengambil informasi yang berguna dari data [4].

B. LoRa RFM95W

Modul LoRa yang digunakan merupakan modul LoRa RFM95W merupakan sebuah modul LoRa yang menyediakan jangkauan penyebaran spektrum ultra long dan memiliki interferensi tinggi untuk meminimalisir konsumsi daya. Teknologi yang dibuat oleh HopeRF, LoRa RFM95W dapat mencapai sensitivitas lebih -148 dBm dengan menggunakan bahan kristal dengan biaya rendah. Sensitivitas tinggi yang dikombinasikan dengan penguat daya +20 dBm terintegrasi menghasilkan link budget yang menjadikannya optimal untuk pengaplikasian apa pun yang membutuhkan jangkauan jarak yang jauh. LoRa memberikan keuntungan yang signifikan dalam pemblokiran dan selektivitas teknisi modulasi, masalah jarak jangkauan, gangguan kekebalan dan konsumsi energi [5].

C. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

Sensor JSN-SR04T adalah sensor ultrasonik yang merupakan hasil upgrade dari HC-SR04, dengan fitur tahan air hingga rentang pengukuran 500cm. Ini membuat sensor aman digunakan didalam air tanpa takut terjadi korsleting listrik, asalkan tidak terlalu dalam. Sensor JSN-SR04T memiliki kabel built-in yang terhubung ke modul dengan panjang 2,5 m dan rentang tegangan 3-5 Volt untuk pemrosesan sinyal. Prinsip kerja sensor ini mengandalkan hukum pemantulan, yaitu dengan menggunakan gelombang suara yang dipancarkan dan memerlukan benda untuk memantulkan sinyal yang kemudian diterima kembali oleh sensor [6].

D. Water Flow Sensor YF-DN80

Water Flow Sensor adalah sensor yang mendeteksi aliran air yang melewati sensor tersebut. Sensor ini terdiri dari rotor air, dan sensor half-effect. Ketika air mengalir melewati rotor, rotor akan berputar. Kecepatan putaran ini akan tergantung dengan kecepatan atau besarnya aliran air yang melewati sensor tersebut. Sensor ini tidak akan menghasilkan tegangan apabila belum dialiri air atau belum bekerja dan baru akan menghasilkan tegangan ketika sensor telah dialiri air. Kelebihan sensor ini adalah hanya membutuhkan sinyal (SIG) selain jalur 5V dan Ground [7]. Water Flow Sensor digunakan untuk mengukur debit air yang mengalir dari sumber ke tangki penyimpanan. Data yang diperoleh akan dikirim yang kemudian akan disimpan ke database untuk dianalisis dan ditampilkan dalam dashboard monitoring. Tabel dibawah ini merupakan deskripsi pada Water Flow Sensor [8].

E. Akuisisi Data Pada Jaringan Sensor

Penggunaan sistem instrumentasi di berbagai kegiatan industri, diperlukan suatu sistem akuisisi data untuk mengambil, menampilkan maupun mengolah data dari sensor yang terdapat pada komponen sistem

instrumentasi yang digunakan. Akuisisi data merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data yang sedang berjalan, kemudian data tersebut diolah lebih lanjut dalam komputer untuk keperluan tertentu [9]. Penyaluran data dalam sistem akuisisi data biasanya dilakukan secara seri maupun paralel dan instrument ke komputer. Seiring dengan perkembangan teknologi, teknologi internet dapat digunakan sebagai media penyaluran data dalam suatu sistem akuisisi data yang dapat memberikan fasilitas akuisisi data secara real time dan dapat diakses dengan mudah, cepat, dan akurat [10].

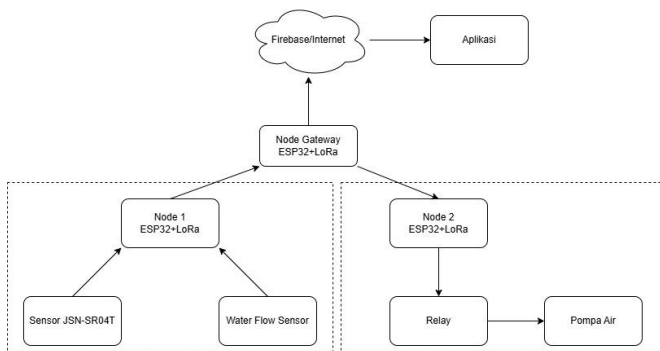
III. METODE

A. Rancangan Sistem

Perancangan sistem untuk melakukan optimasi pendistribusian air bersih diharapkan dapat membantu petugas atau pekerja dalam memantau dan juga mendistribusikan air dengan lebih mudah dan efektif, pada sistem petugas dapat memantau ketinggian air pada tangki air, arus air yang mengalir, status pompa menyala atau tidak, dan prediksi pengeluaran diakhir bulan berdasarkan data pada bulan sebelumnya pada aplikasi mobile. Proses perancangan ini mencakup beberapa aspek penting, antara lain seperti deskripsi sistem, cara kerja sistem, spesifikasi sistem, diagram blok, perancangan untuk node 1, perancangan node gateway dan perancangan untuk node 2.

B. Deskripsi Alat

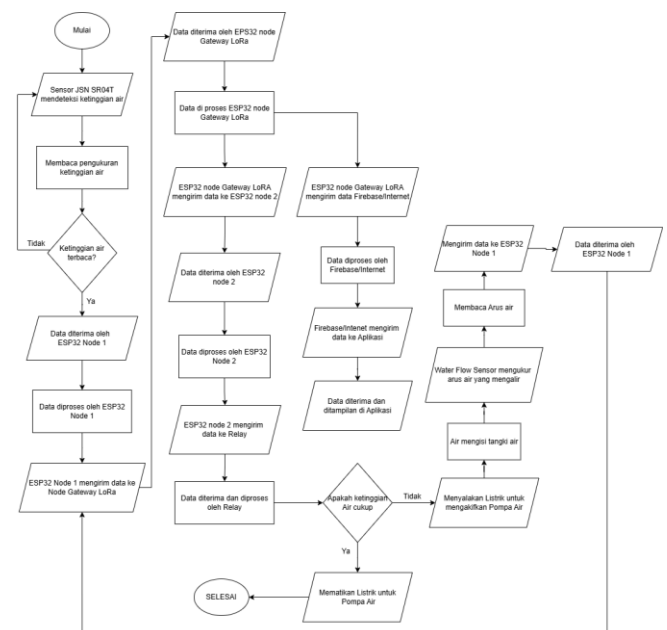
Perancangan sistem yang dibuat menggunakan dua sensor untuk mendukung kebutuhan dari sistem kerja kali ini seperti sensor jarak dan juga sensor arus air yang masing-masing dari sensor tersebut akan mengukur tangki air serta arus air yang digunakan, kedua sensor tersebut akan terhubung dengan mikrokontroller yaitu ESP32 sebagai node 1 yang nantinya dikirim ke mikrokontroller ESP32 sebagai node gateway untuk dikirim ke database yaitu firebase, serta data tersebut akan diteruskan lagi ke mikrokontroller ESP32 sebagai node 2 untuk mengatur relay yang digunakan berdasarkan data yang diterima dari sensor yang ada di node 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

C. Rancangan Sistem

Cara kerja dari sistem yang telah dibuat dengan menggunakan Wireless Sensor Network (WSN) yang membuat ketiga mikrokontroller ESP32 saling terhubung dan berkomunikasi menggunakan LoRa (Long Range). Node tersebut dinamakan sebagai node 1, node gateway, dan node 2. Node1 berperan sebagai node pengirim yang dilengkapi dengan sensor jarak yaitu Sensor JSN-SR04T dan sensor arus air yaitu Water Flow Sensor untuk mengambil data yang diperlukan dan akan dikelola oleh node 1 untuk dikirimkan ke node gateway menggunakan alat komunikasi LoRa. Lalu untuk node gateway berperan untuk mengirimkan data ke database atau internet yang sudah terhubung dengan firebase realtime database dengan format dan API key yang sudah tersedia dari firebase, pada pengiriman ke firebase ini data sudah dikelola sehingga sudah dapat dikirim langsung data yang diinginkan seperti jumlah arus air yang sudah di perhitungkan dengan jumlah biaya pengeluaran air dan juga meneruskan data dari node 1 ke node 2, di node gateway sendiri hanya terdiri beberapa komponen saja yaitu mikrokontroller ESP32 dan juga modul LoRa untuk berkomunikasi.



Gambar 2. Flowchart Sistem

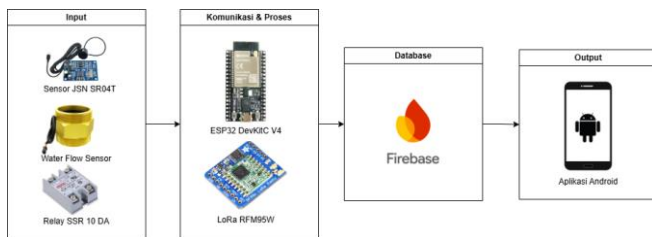
Flowchart di atas menggambarkan proses dari inisialisasi sensor hingga akhir operasi sistem. Proses dimulai dengan menginisialisasi sensor JSN-SR04T, Water Flow Sensor, dan modul LoRa RFM95W. Sensor JSN-SR04T mendeteksi ketinggian air dalam tangki, lalu data dikirim ke ESP32 Node 1 untuk diproses dan diteruskan ke ESP32 Node Gateway. Node Gateway mengirim data ke Firebase dan ke ESP32 Node 2. Firebase menyimpan data ketinggian air, debit air, dan estimasi biaya dalam Realtime Database, lalu ditampilkan pada aplikasi untuk monitoring.

Sementara itu, Node 2 memproses data ketinggian air dari Node Gateway. Jika air cukup, relay mematikan listrik dan pompa. Jika tidak cukup, relay mengaktifkan

pompa untuk mengisi air dari PAM. Saat air mengalir ke tangki, Water Flow Sensor mengukur debit air, kemudian data dikirim kembali ke Node 1, lalu diteruskan ke Node Gateway untuk ditampilkan bersama data ketinggian air di aplikasi dan dianalisis lebih lanjut.

D. Diagram Aplikasi

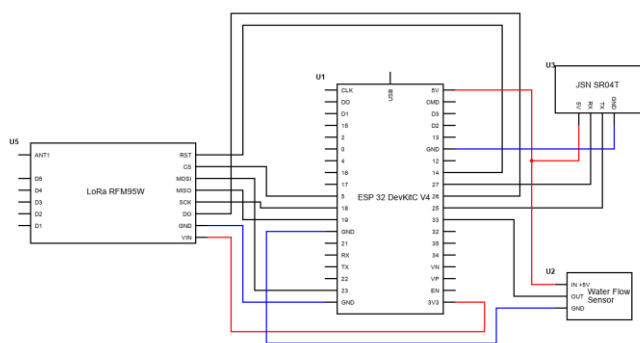
Pada perancangan aplikasi ini akan digunakan untuk membantu pengguna untuk me-monitoring pendistribusian air bersih. Data yang sudah terima dari Water Flow Sensor dan Sensor JSN-SR04T akan dikirim firebase untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut di aplikasi android. Untuk mendukung kinerja dari alat ini dibutuhkan sebuah device smartphone android yang berfungsi untuk menerima data dari alat tersebut. Dengan adanya aplikasi kegiatan memonitoring agar berjalan lebih cepat dan efisien dalam waktu dan tenaga pada pengukuran tangki air dan arus air.



Gambar 3. Diagram Aplikasi

E. Komponen Realisasi Hardware

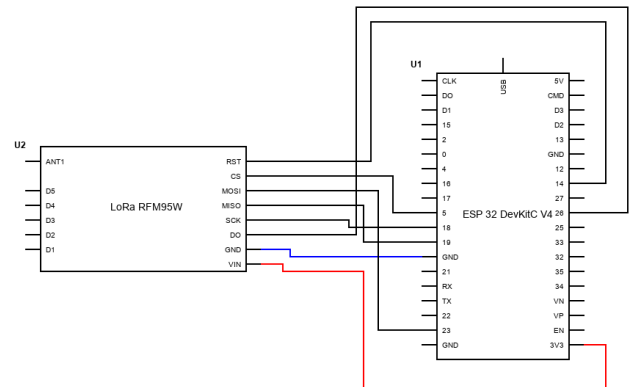
Pada bagian ini merupakan realisasi dari komponen dan alat untuk melakukan pendistribusian air bersih. Alat ini terdiri dari node 1, node LoRa Gateway, dan node 2. Komponen yang ada di Node 1 adalah NodeMCU ESP32 DevKitC V4 sebagai mikrokontroller yang digunakan untuk memproses data yang diterima oleh sensor, LoRa RFM95W digunakan sebagai alat komunikasi antar mikrokontroller yang digunakan, Water Flow Sensor sebagai alat untuk mengukur atau menghitung arus air yang mengalir, dan JSN SR-04T sebagai alat untuk mengukur jarak ketinggian air di tangki air agar dapat mengetahui isi dari tangki air. Berikut adalah skematik dari node 1.



Gambar 4. Skematik Alat Node 1

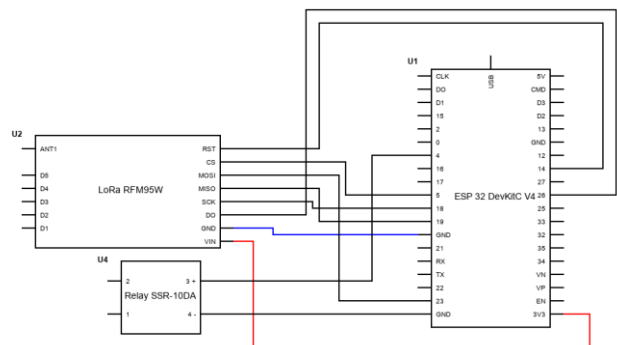
Pada bagian node Gateway, terdiri dari NodeMCU ESP32 DevKitC V4 sebagai mikrokontroller yang

digunakan untuk menerima data dari Node 1 dan mengirim data tersebut ke database Firebase, lalu ada LoRa RFM95W digunakan sebagai alat komunikasi antar mikrokontroller, Berikut adalah skematik dari node Gateway.



Gambar 5. Skematik Alat Node Gateway

Pada bagian node 2, terdiri dari NodeMCU ESP32 DevKitC V4 sebagai mikrokontroller yang digunakan untuk menerima data dari Node Gateway dan memproses data untuk mengatur Relay, lalu ada LoRa RFM95W digunakan sebagai alat komunikasi antar mikrokontroller, dan ada Relay untuk mengatur listrik pompa air. Berikut adalah skematik dari node 2.



Gambar 6. Skematik Alat Node 2

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Jarak dan Persentase Ketinggian Air

Pengujian pertama dilakukan terhadap sensor jarak ultrasonik yaitu sensor JSN-SR04T, dimana nilai yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai aktual dalam satuan sentimeter, nilai tersebut kemudian di konversi ke dalam bentuk persentase ketinggian air pada aplikasi monitoring. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi jarak dari posisi minimum (tangki air kosong) hingga posisi maksimum (tangki air penuh). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem mampu merepons perubahan jarak secara real-time dengan konversi persentase yang sesuai berdasarkan nilai kalibrasi awal. Alat yang digunakan untuk pengujian ini berupa laptop, NodeMCU ESP32 DevKitC V4 sebanyak 2 pasang,

LoRa RFM95W sebanyak 2 pasang, Firebase, Aplikasi Android, Sensor JSN-SR04T. Dibawah ini merupakan data hasil pengujian sensor jarak dari kedalaman 300 cm dan luas $47,8 \text{ cm}^3$.

TABEL I
DATA HASIL PENGUJIAN SENSOR JARAK

Waktu Pengujian	Jarak Sensor (cm)	Tinggi Air (cm)	Persentase Ketinggian Air Aplikasi (%)	Volume Air (m^3)
09.49 WIB	37.83	262.17	87.39	125.57
10.05 WIB	40.85	259.15	86.38	124.13
11.01 WIB	38.37	261.63	87.21	125.32
11.21 WIB	32.31	267.87	89.29	128.31
11.37 WIB	28.07	271.93	90.64	130.25
13.39 WIB	49.49	250.51	83.50	119.99
14.04 WIB	55.03	244.97	81.66	117.34
14.47 WIB	67.63	232.37	77.46	111.30
15.04 WIB	73.47	226.53	75.51	108.50

Berdasarkan data hasil pengujian, sensor JSN-SR04T mampu mendeteksi perubahan permukaan air dengan cukup akurat dan stabil. Terlihat bahwa setiap perubahan nilai jarak sensor (dalam satuan cm) memberikan pengaruh langsung terhadap tinggi air yang dihitung serta volume air dalam tangki. Nilai persentase ketinggian air yang ditampilkan pada aplikasi monitoring juga konsisten dengan hasil konversi dari data sensor. Volume air yang dihasil dari perhitungan tinggi air terhadap luar permukaan tangki juga menunjukkan nilai yang sesuai, seperti saat tinggi air mencapai sekitar 262 cm, volume tercatat sekitar 125.6 m^3 . Pada dibawah ini merupakan perhitungan secara manual untuk mengetahui hasil dari pengujian yang telah dilakukan oleh sensor jarak. Seperti contoh untuk data pengujian pertama untuk waktu 09.49 WIB dengan sensor 37.83 cm.

B. Pengujian Data Historis untuk Model Machine Learning (ARIMA)

Pengujian selanjutnya difokuskan pada pemanfaatan data historis sensor sebagai input untuk model prediksi menggunakan algoritma ARIMA. Hasil prediksi dibandingkan dengan data aktual dan dianalisis menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) untuk mengevaluasi tingkat akurasi model. Nilai RMSE yang diperoleh menunjukkan seberapa besar deviasi antara hasil prediksi dan nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik performa model dalam memprediksi data volume penggunaan air. Dibawah ini merupakan pengujian terhadap model machine learning ARIMA.

TABEL II
DATA HASIL PENGUJIAN MODEL MACHINE LEARNING

Date Time	FlowRate (L/min)	Prediksi ARIMA	Error * (Selisih)	RMSE
2025-06-22 10:59:07	69.334	64.314	5.019	
2025-06-22 10:59:10	67.022	66.338	0.683	3.81%
2025-06-22 10:59:13	67.466	67.144	0.321	

Date Time	FlowRate (L/min)	Prediksi ARIMA	Error * (Selisih)	RMSE
2025-06-22 10:59:16	65.066	64.939	0.126	
2025-06-22 10:59:18	69.954	67.219	2.734	
2025-06-22 10:59:07	69.334	64.314	5.019	
2025-06-22 10:59:10	67.022	66.338	0.683	
2025-06-22 10:59:13	67.466	67.144	0.321	
2025-06-22 10:59:16	65.066	64.939	0.126	

Berdasarkan data performa model kembali dengan nilai RMSE menurun menjadi 3.81%. Error prediksi sangat kecil dan stabil, berkisar antara 0.126 hingga 5.019 liter/menit. Ini menunjukkan bahwa ARIMA mampu menghasilkan prediksi yang lebih presisi ketika pola data menunjukkan kestabilan. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa ARIMA sangat bergantung pada karakteristik data input. ARIMA

C. Pengujian Jangkauan Jarak pada Komunikasi LoRa

Pengujian berikutnya berfokus pada kualitas jangkauan komunikasi LoRa, yang meliputi kekuatan sinyal (RSSI), tingkat kebisingan sinyal (SNR), dan keandalan pengiriman data antar node. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi lingkungan untuk memastikan kestabilan komunikasi data jarak jauh. Tabel dibawah ini merupakan data hasil dari pengujian yang dilakukan dengan menggunakan LoRa sebagai alat untuk komunikasi. Pengujian komunikasi LoRa menunjukkan sinyal sangat baik pada jarak 10 meter (RSSI -47 dBm, SNR 9,75 dB). Namun, di jarak 30 meter dalam ruangan, kualitas sinyal menurun (RSSI -112 dBm, SNR 1,75 dB) akibat hambatan bangunan. Penambahan penghalang seperti kendaraan dan tembok menurunkan sinyal lebih jauh (RSSI -116 dBm, SNR -2,5 dB).

TABEL III
DATA HASIL PENGUJIAN JARAK KOMUNIKASI LoRa

Waktu Pengujian	Jarak	Halangan yang ada dilokasi	RSSI	SNR
10.00 WIB	10 Meter	Dekat Dengan Alat	-47 dBm	9.75 dB
11.21 WIB	30 Meter	Dalam Ruangan	-112.0 dBm	1.75 dB
13.42 WIB	30 Meter	Bangunan, dan Kendaraan	-116.0 dBm	-2.5 dB
13.47 WIB	50 Meter	Bangunan, dan Kendaraan	-121.0 dBm	-3.75 dB
13.50 WIB	100 Meter	Bangunan, dan Kendaraan	-121.0 dBm	-6.25 dB
14.00 WIB	150 Meter	Bangunan, dan Kendaraan	-	-

Pada jarak 50 dan 100 meter, RSSI turun hingga -121

dBm dengan SNR -3,75 dB dan -6,25 dB. Di 150 meter, data tidak terbaca, kemungkinan karena interferensi tinggi. Hasil ini menunjukkan LoRa efektif untuk jarak menengah dengan hambatan ringan, namun performanya menurun pada jarak jauh dan lingkungan kompleks.

D. Pengujian Sensor Aliran Air pada Beragam Kondisi

Pengujian terakhir dilakukan terhadap water flow sensor untuk mengetahui performanya dalam mendeteksi laju aliran air pada dua kondisi berbeda, yaitu saat jam sibuk (busy hour) dan saat tidak sibuk (non-busy hour). Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan data yang akurat meskipun terjadi fluktuasi penggunaan air secara signifikan. Berdasarkan hasil pengujian Water Flow Sensor yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan aliran air dengan baik pada kondisi jam sibuk (busy hour) maupun jam tidak sibuk (non-busy hour) pada waktu pukul 08.30 dan 09.00 WIB, laju aliran air yang tercatat relatif rendah dengan kisaran antara 1.55 hingga 1.87 liter/menit, serta pompa booster dalam kondisi tidak menyala, yang menunjukkan penggunaan air yang minim. Sementara itu, saat busy hour seperti pukul 10.06, 11.01, 14.00, dan 15.01 WIB, terjadi peningkatan signifikan pada laju aliran air, tercatat antara 3.33 hingga 6.13 liter/menit. Secara keseluruhan, data dari firebase menunjukkan bahwa sensor dapat mengirimkan data dengan stabil dan akurat, serta responsif terhadap perubahan tekanan air dan aktivitas pompa booster. Hal ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang telah berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan untuk memantau aliran air di lingkungan operasional yang dinamis.

TABEL IV DATA HASIL PENGUJIAN SENSOR ALIRAN AIR PADA BERAGAM KONDISI				
Waktu Pengujian	Kondisi	Pompa Booster	Flow Rate (liter/menit)	Data di Firebase
08.02 WIB	Non-Busy Hour	OFF	1.34 – 1.55	1.34 – 1.55 L/min
08.30 WIB	Non-Busy Hour	OFF	1.55 – 1.67	1.55 – 1.67 L/min
09.00 WIB	Non-Busy Hour	OFF	1.60 – 1.87	1.60 – 1.67 L/min
10.06 WIB	Busy Hour	ON	3.73 – 3.87	3.73 – 3.87 L/min
11.01 WIB	Busy Hour	ON	3.33 – 3.6	3.33 – 3.6 L/min
11.35 WIB	Non Busy Hour	ON	4.4 – 4.7	4.4 – 4.7 L/min
13.32 WIB	Non-Busy Hour	ON	4.27 – 5.07	4.27 – 5.07 L/min

Waktu Pengujian	Kondisi	Pompa Booster	Flow Rate (liter/menit)	Data di Firebase
14.00 WIB	Busy Hour	ON	4.44 – 5.20	4.44 – 5.20 L/min
15.01 WIB	Busy Hour	ON	5.20 – 6.13	5.20 – 6.13 L/min
16.03 WIB	Non-Busy Hour	ON	4.93 – 5.20	4.93 – 5.20 L/min

E. Pengujian Kalibrasi Terhadap Sensor

Pada pengujian kali ini untuk mengetahui tingkat error dari data aktual dengan data yang diterima oleh sensor dari JSN-SR04T dan Water Flow Sensor. Untuk menguji dan mengkalibrasi sensor JSN-SR04T, dilakukan serangkaian pengukuran dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap jarak aktual yang diukur menggunakan alat ukur manual seperti meteran. Sensor dipasang secara vertikal menghadap ke permukaan air dalam tangki air. Setiap jarak aktual tersebut dicatat dan dibandingkan dengan hasil yang ditampilkan pada serial monitor. Dari data tersebut, dapat dihitung selisih (error) antara pembacaan sensor dengan nilai aktual.

Sementara itu, kalibrasi water flow sensor dilakukan dengan cara mengalirkan air melalui sensor kedalam wadah air dengan volume 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Liter. Sensor akan menghasilkan pulse setiap kali air mengalir, dan jumlah pulsa tersebut dicatat menggunakan ESP32 dan ditampilkan di serial monitor. Dari data tersebut, dapat dihitung selisih (error) antara pembacaan sensor dan nilai aktual.

Pada pengujian pertama dilakukan untuk menguji sensor JSN-SR04T. Pada tabel dibawah ini ditunjukan hasil dari pengujian sensor JSN-SR04T.

TABEL V DATA HASIL PENGUJIAN KALIBRASI SENSOR JSN-SR04T		
Jarak Aktual (cm)	Jarak Sensor (cm)	Error (cm)
56	56.61	+0.61
46	46.97	+0.97
28	28.97	+0.97
70	70.86	+0.86
103	103.79	+0.79
29	29.02	+0.2
67	67.47	+0.47
45	45.93	+0.93
46	46.40	+0.40
28	29.00	+1.0

Untuk pengujian Kalibrasi dari Water Flow sensor ditunjukan pada tabel dibawah ini.

TABEL VI DATA HASIL PENGUJIAN KALIBRASI WATER FLOW SENSOR				
Volume Aktual (Liter)	Durasi Pengujian (Detik)	Volume Sensor (Liter)	Selisih (Liter)	Error (%)
5	25	5.29	+0.29	5.80
10	60	10.04	+0.04	0.40
15	95	14.55	-0.45	3.00

Volume Aktual (Liter)	Durasi Pengujian (Detik)	Volume Sensor (Liter)	Selisih (Liter)	Error (%)
20	140	19.42	0.58	2.90
25	175	25.70	0.70	2.80
30	200	30.00	0.00	0.00
35	235	36.54	+1.54	4.40
40	265	38.04	-1.96	4.90
45	280	45.39	+0.39	0.87
50	310	51.40	+1.40	2.80
Rata-Rata Error				2.887%

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam tabel, dapat dilihat bahwa sistem sensor volume air menunjukkan performa yang cukup akurat dalam mengukur volume aktual air yang diuji pada berbagai durasi waktu. Selisih antara volume aktual dan volume yang terbaca oleh sensor (Volume Sensor) berada dalam kisaran ± 1.96 liter, dengan persentase kesalahan (error) tertinggi sebesar 5.80% pada volume 5 liter dan terendah sebesar 0.00% pada volume 30 liter. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kecenderungan menghasilkan error yang relatif kecil pada volume sedang hingga tinggi, sedangkan pada volume rendah cenderung mengalami deviasi yang lebih besar.

Durasi pengujian yang bervariasi juga tampaknya tidak secara langsung memengaruhi akurasi pembacaan sensor, namun nilai error yang relatif stabil pada rentang 0.4% hingga 4.9% mengindikasikan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran dengan konsistensi yang dapat diterima untuk keperluan monitoring volume air dan rata-rata error sebesar 2.887%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa sistem sensor volume air ini layak digunakan untuk aplikasi pemantauan distribusi air, dengan tingkat akurasi yang memadai dan kesalahan yang masih dalam batas toleransi pengukuran teknis. Evaluasi lebih lanjut dapat difokuskan pada peningkatan presisi pengukuran pada volume rendah, serta kalibrasi sistem secara berkala untuk meminimalisir deviasi pengukuran.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring air berbasis IoT ini menunjukkan performa yang andal dan efektif. Pengujian sensor jarak JSN-SR04T berhasil menunjukkan kemampuan dalam memberikan data ketinggian air yang akurat dan stabil. Perubahan jarak yang terdeteksi oleh sensor sebanding dengan perubahan tinggi air, serta nilai persentase ketinggian air pada aplikasi monitoring sesuai dengan hasil perhitungan manual. Volume air yang dihitung dari tinggi air dan luas tangki juga valid, sehingga sensor ini dapat diandalkan untuk pemantauan level air secara real-time. Model prediksi ARIMA juga terbukti efektif dalam memproyeksikan penggunaan air, meskipun sensitif terhadap perubahan data yang drastis. Dari tiga

kali pengujian, diketahui bahwa model ini menunjukkan kinerja yang baik dengan RMSE rendah (3.81% dan 8.24%) saat data historis stabil, namun mengalami penurunan akurasi dengan RMSE tinggi (23.13%) saat pola data berubah secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kestabilan data historis sangat mempengaruhi keakuratan model prediksi. Dari sisi komunikasi, teknologi LoRa menunjukkan performa sangat baik pada jarak dekat dan area terbuka, dengan sinyal yang kuat pada jarak 10 meter (RSSI -47 dBm, SNR 9.75 dB). Namun, performanya menurun pada jarak 30–100 meter terutama di lingkungan dengan banyak hambatan fisik. Pada jarak 150 meter, data tidak dapat diterima, yang menunjukkan keterbatasan jangkauan efektif LoRa di area kompleks. Sensor Water Flow juga menunjukkan responsivitas yang baik terhadap variasi kondisi operasional. Saat jam tidak sibuk dengan pompa booster dalam keadaan mati, flow rate terpantau rendah (1.55–1.87 L/menit), sedangkan saat jam sibuk dengan pompa aktif, aliran air meningkat signifikan hingga 6.13 L/menit. Ini membuktikan bahwa sensor berfungsi dengan stabil dan mampu mengirimkan data secara real-time ke Firebase.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Anggara, Nehru and Y. R. Hais, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Penggunaan air PDAM berbasis Internet of Things," *PHYSICS AND SCIENCE EDUCATION JOURNAL (PSEJ)*, vol. 3, no. Physics and Science Education Journal (PSEJ), Volume 3 Nomor 2, Agustus 2023, 2023.
- [2] M. S. Wahyuni, A. Zaki, S. Hidayat and M. I. Pratama, "Penerapan Metode ARIMA dalam Meramalkan Kebutuhan Energi Listrik di Kota Makassar," *Journal of Mathematics, Computation and Statistics (JMATHCOS)*, vol. 7, 2024.
- [3] Y. W. Nanlohy and G. Haumahu, "Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) for Rainfall Forecasting in Surabaya City," *TENSOR Pure And Applied Mathematics Journal*, vol. 2, 2021.
- [4] B. N. Laksavian, *Implementasi Algoritma ARIMA untuk Memprediksi Perkiraan Penjualan Produk Skincare*, 2024.
- [5] Rahmafadilla, I. D. Irawati, M. F. Rizal and S. S. Maidin, "Lora Communication System for Early Detection and Monitoring of Water Toxicity in Floating Net Cages," *Journal of Applied Data Sciences*, vol. 6, 2025.
- [6] G. H. Iftinan Apsari, S. Pramono and N. A. Zen, *Implementasi Regresi Linier Menggunakan Sensor JSN-SR04T Untuk Monitoring Ketinggian Air Pada Tandon Air Melalui Antares*, 2022.
- [7] V. J. H. Munthe and M. Hutabarat, *Rancang Bangun alat ukur kecepatan Aliran Air Menggunakan Water Flow Sensor Berbasis Arduino Uno*, 2023.
- [8] N. Muamaroh and F. W. Christanto, "IoT Based Automatic Water Usage Measurement System Using YF-S201 WaterFlow Sensor and NodeMCU

ESP8266," *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 8, 2024.

- [9] U. Muhammad and Mukslisin, "Desain Sistem Akuisisi Data Sensor Tegangan Berbasis Internet of Things (IoT)," *Journal Of Electrical Engineering (Joule)*, vol. 2, 2021.
- [10] H. A. Sandi, Sudjadi and Darjat, "Perancangan Sistem Akuisisi Data Multisensor (Sensor Oksigen, Hidrogen, suhu, dan Tekanan) melalui Website Berbasis Android," *TRANSIENT Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, 2020.