

Performance Testing of the Water Level Monitoring System at Internet of Things-Based Water Gates

Feby Nopriandy¹, Suhendra^{2*}, Leo Dedy Anjiu³, Budi Setiawan⁴

^{1,2,4} Prodi Teknik Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sambas

Jl. Raya Sejangkung, Sambas, Kalimantan Barat, Indonesia

³ Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sambas

Jl. Raya Sejangkung, Sambas, Kalimantan Barat, Indonesia

*Corresponding author: aka.suhendra@yahoo.com

Abstract

The main problem in agricultural water management was the imbalance in water availability caused by suboptimal irrigation systems. Efforts have been made to develop a water level monitoring system that integrates ultrasonic sensors, Internet of Things (IoT) technology, and solar power to monitor irrigation automatically and in real time, especially in locations without electricity. Therefore, this study aimed to design, construction, and test the accuracy and error rates of an Internet of Things (IoT)-based water level monitoring system. The system was designed using ultrasonic sensors, the Blynk platform, an ESP32 microcontroller, and a 50 WP solar panel as the power source. Field testing was conducted on an open water channel with a depth of approximately 1.22 m. Data were collected every 5 cm within a water level range of 5–75 cm. The sensor was operated at distances ranging from 2.27 to 2.97 m. Observations were made by comparing the ultrasonic sensor's measurements with manual measurements used as reference points. The test results show that this system has an average accuracy of 95.85%, with an average absolute measurement error of 4.15% and a calculated RMSE of 1.1412 cm.

Keywords: *internet of things, monitoring, ultrasonic sensor, water level*

Abstrak

Permasalahan utama dalam tata kelola air bidang pertanian adalah kurang seimbangnya ketersediaan air akibat sistem irigasi yang tidak optimal. Upaya yang dilakukan adalah mengembangkan sistem monitoring ketinggian air yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, teknologi *Internet of Things* (IoT), dan sumber energi tenaga surya dapat memantau irigasi secara otomatis dan real-time terutama pada Lokasi yang tidak dialiri listrik. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang bertujuan merancang bangun, dan melakukan uji akurasi serta tingkat *error* pada sistem monitoring tinggi muka air berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang menggunakan sensor ultrasonik, platform Blynk, mikrokontroler ESP32 serta panel surya 50 WP sebagai sumber energi. Pengujian dilakukan di lapangan pada saluran air terbuka dengan kedalaman sekitar 1,22 m. Data diambil setiap 5 cm, pada rentang ketinggian air 5 – 75 cm. Sensor dioperasikan pada rentang jarak 2,27 – 2,97 m. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor ultrasonik dengan pengukuran manual sebagai titik acuan. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem ini memiliki rata-rata akurasi sebesar 95,85%, rata-rata persentase *error* absolut pengukuran mencapai 4,15% dengan nilai RMSE hasil perhitungan sebesar 1,1412 cm.

Kata kunci: *internet of things, ketinggian air, monitoring, sensor ultrasonik*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki curah hujan tinggi dan bervariasi yang sangat berdampak terhadap sektor pertanian [1]. Pola curah hujan yang tidak menentu dapat menyebabkan kekeringan ekstrem maupun hujan berlebih sehingga produksi hasil pertanian menjadi tidak stabil. Kekeringan menurunkan ketersediaan air irigasi dan menyebabkan gagal panen, sementara banjir akibat curah hujan tinggi merusak tanaman serta mempercepat degradasi tanah.

Dampak kelebihan curah hujan atau banjir dapat dikurangi melalui pembangunan infrastruktur seperti membuat bendungan yang dilengkapi dengan sistem buka tutup pintu air [2]. Bendungan berperan menampung dan menyimpan air yang dapat digunakan untuk memenuhi pasokan air pembangkit tenaga listrik ataupun sistem irigasi suatu pertanian [3]. Suatu bendungan umumnya dilengkapi dengan pintu air yang berfungsi mengatur tinggi permukaan air. Pintu air dapat dibuka dan ditutup sesuai dengan kebutuhan dan kondisi air [4].

Berdasarkan hasil studi lapangan, melalui diskusi dengan petugas pintu air di salah satu perusahaan kelapa sawit di Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. Permasalahan utama dalam mengoperasikan pintu air adalah sulit mendapatkan informasi tinggi permukaan air dengan tepat. Petugas terkadang harus bolak balik ke pintu air untuk memastikan bahwa tinggi permukaan air sudah sesuai lalu kemudian membuka atau menutup pintu air sesuai kebutuhan. Kondisi diperparah jika jumlah pintu air yang akan dibuka atau ditutup cukup banyak, atau pada kondisi curah hujan yang tiba-tiba sangat tinggi sehingga harus dengan cepat mengatur pintu air.

Tanaman kelapa sawit sangat memerlukan suplai air yang cukup namun tidak boleh kelebihan air. Kelebihan atau kekurangan air dapat berdampak buruk bagi perkembangan kelapa sawit dan dapat menyebabkan tanaman layu permanen atau kematian. Air sangat penting bagi tanaman setelah matahari, dibandingkan pupuk [5]. Dengan demikian

tinggi permukaan air pada areal perkebunan harus dijaga tetap stabil.

Berdasarkan kondisi ini, diperlukan suatu sistem monitoring yang dapat mendeteksi dan memberikan informasi tentang tinggi permukaan air secara langsung. Sistem monitoring ini harus dapat dioperasikan secara instan dan fleksibel, tanpa batasan waktu maupun lokasi, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi secara *real-time*.

Beberapa penelitian tentang sistem monitoring tinggi permukaan air dan buka tutup pintu air telah dilakukan antara lain tentang desain pintu air untuk PLTMH [6] untuk meningkatkan kestabilan tegangan listrik yang dihasilkan. Penelitian lain berupa rancang bangun model sistem kendali pintu air untuk irigasi sawah [7]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali ini memiliki 2 pintu air yaitu masuk dan keluaran air, serta menggunakan sensor tinggi air dan sensor hujan. Penelitian ini baru pada tahap model yang perlu dikembangkan lebih lanjut. Penelitian lainnya berupa rancang bangun prototipe sistem monitoring pintu air otomatis [1] dengan miniatur bendungan yang dapat bekerja dengan baik. Penelitian lainnya berupa rancang bangun miniatur sistem pengendali pintu air otomatis [8] dilengkapi sensor HC-SR04 untuk pembacaan ketinggian air, motor servo untuk membuka atau menutup pintu air dan modul ESP 8266 sebagai monitoring melalui web Thinger.io.

Beberapa penelitian lain adalah tentang penggunaan sensor ultrasonik untuk mengevaluasi ketinggian air pada saluran mengalir [9], pengukuran ketinggian dan volume air [10], pemantauan ketinggian air berbasis IoT [11] dan pembuatan prototipe alat pemantau sungai secara *real-time* untuk peringatan dini banjir [12]. Penggabungan sistem IoT, sensor ultrasonik dan penggunaan energi surya juga telah dilakukan, dengan membuat sistem pemodelan dan pengujian laboratorium terdapat pintu irigasi serta melakukan analisis ekonomi [13].

Berdasarkan berbagai penelitian

terdahulu, pengembangan sistem monitoring tinggi muka air umumnya masih berfokus pada prototipe laboratorium, atau model irigasi dengan skala pengujian yang terbatas. Penelitian sebelumnya belum memberikan kajian yang komprehensif mengenai akurasi sensor ultrasonik pada berbagai ketinggian muka air, keandalan sistem IoT yang dilengkapi panel surya sebagai sumber tenaga dalam operasional untuk monitoring pintu air secara *real-time* pada sistem irigasi perkebunan.

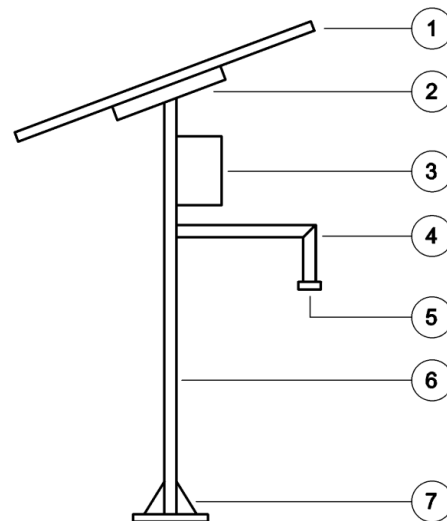
Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan dan pengujian kinerja sistem monitoring tinggi muka air yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, teknologi *Internet of Things* (IoT), dan sumber energi tenaga surya pada pintu air untuk pengelolaan irigasi perkebunan. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya masih berupa prototipe laboratorium atau hanya berfokus pada salah satu aspek sistem, penelitian ini mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh melalui pengujian akurasi pengukuran tinggi muka air, tingkat *error*, serta keberlangsungan operasi sistem yang didukung oleh tenaga surya pada kondisi lapangan. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan sistem monitoring yang bersifat mandiri yang mampu beroperasi secara berkelanjutan di lokasi yang tidak tersedia akses listrik, serta menyediakan informasi tinggi muka air secara *real-time*. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun, dan melakukan uji akurasi serta tingkat *error* pada sistem monitoring tinggi muka air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi panel surya sebagai sumber tenaga.

2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi tahap desain, perakitan komponen, pemrograman sistem, uji kinerja sistem dan analisis hasil pengujian.

Desain Mekanisme Sistem Monitoring

Desain mekanisme sistem monitoring ketinggian air dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain sistem monitoring ketinggian air

Keterangan :

1. Solar sel
2. Penopang solar sel
3. Sistem kontrol solar sel dan monitoring ketinggian air
4. Penahan sensor ketinggian air
5. Sensor ketinggian air
6. Tiang penyangga
7. Dudukan tiang penyangga

Perakitan komponen

Langkah awal pembuatan sistem monitoring ketinggian air ini adalah mempersiapkan alat dan bahan yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor ultrasonik, LCD 16x2 tanpa I2C, potensiometer, baterai 12V 5 Ah, panel surya, SCC (*solar charge controller*) 10 A, dan kotak panel. Perakitan dimulai dengan menghubungkan sensor ultrasonik ke ESP32, kemudian menghubungkan LCD 16x2 tanpa I2C ke mikrokontroler ESP32 dan potensiometer. Langkah selanjutnya memasang sumber tenaga untuk sistem monitoring yaitu menghubungkan panel surya ke *solar charge controller* dan diteruskan ke baterai 12V. Arus keluaran dari baterai 12V masih terlalu besar jika digunakan langsung oleh ESP32 dan komponen lainnya, sehingga perlu ditambahkan DC-DC *buck converter* sebagai penurun tegangan dari 12V menjadi 3,3V yang sesuai dengan kebutuhan ESP32. Langkah terakhir adalah menghubungkan

rangkaian sumber tenaga dengan rangkaian mikrokontroler ESP32.

Pemrograman sistem

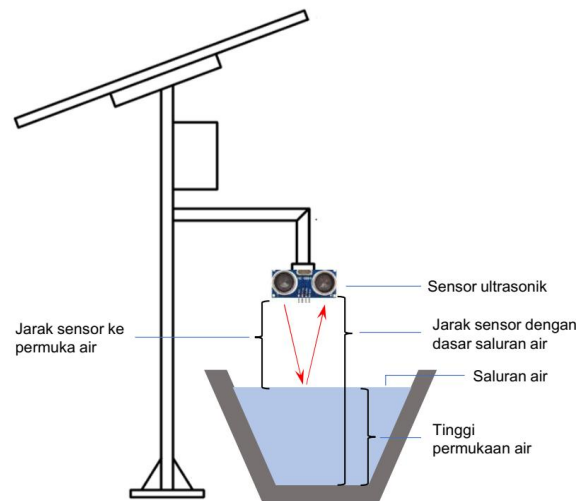
Program pada ESP32 ditulis menggunakan Arduino IDE. Beberapa *library* penting ditambahkan untuk mendukung sistem seperti *LiquidCrystal.h*, untuk mengendalikan LCD 16x2 tanpa I2C, *NewPing.h* untuk pengoperasian sensor ultrasonik, *BlynkSimpleEsp32.h* untuk mengintegrasikan dengan aplikasi *Blynk*. Seluruh *library* tersebut digabungkan dengan program utama mencakup inisialisasi sensor ultrasonik, LCD, dan koneksi *Blynk*.

Tahap selanjutnya adalah mengupload program ke mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE. Proses ini akan mengkompilasi program dan mengirimkan hasilnya ke ESP32 melalui koneksi USB. *Board* ESP32 akan langsung menjalankan program yang telah di-upload, menghubungkan ke *Wi-Fi*, menginisialisasi sensor ultrasonik, dan menampilkan hasil pengukuran pada LCD, serta mengirimkan data ke aplikasi *Blynk* untuk pemantauan jarak atau ketinggian air secara *real-time*.

Uji Kinerja Sistem Monitoring

Uji kinerja sistem monitoring dilakukan untuk menganalisis sejauh mana tingkat akurasi dan *error* terhadap pembacaan ketinggian air. Data yang dibandingkan adalah data pembacaan sensor dengan data pengukuran di lapangan secara manual.

Pengujian dilakukan di saluran air terbuka dengan kedalaman sekitar 1,22 m. Jarak antara sensor dengan dasar saluran air adalah 3,02 m. Sensor dioperasikan pada rentang jarak 2,27 – 2,97 m. Tinggi permukaan air di lapangan diukur menggunakan meteran. Pengujian dilakukan dengan mengukur tinggi permukaan air pada 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, 60 cm, 65 cm, 70 cm dan 75 cm dengan masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan.



Gambar 2. Skema pengukuran dalam pengujian

Data yang dianalisis adalah akurasi, persentase *error*, rata-rata persentase *error* absolut, dan RSME. Nilai akurasi dapat dihitung menggunakan persamaan 1 [14–16].

$$Ak = 1 - (Nm - Ns) / Nm \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

Ak = Akurasi (%)

Nm = Hasil pengukuran manual (cm)

Ns = Hasil pengukuran sensor (cm)

Persentase *error* pada sistem dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [17] dan ditampilkan dalam nilai absolut. Nilai rata-rata persentase *error* absolut dihitung menggunakan persamaan 3 [18], sedangkan nilai RSME dihitung menggunakan persamaan 4 [19].

$$PE = \frac{[Ns - Nm]}{Nm} \times 100\% \quad (2)$$

$$RPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{Ns - Nm}{Nm} \right] \quad (3)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Ns - Nm)^2} \quad (4)$$

Keterangan:

PE = Persentase kesalahan sistem (%)

RPE = Rata-rata persentase error absolut (%)

RSME = Root Mean Square Error (cm)

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Rancang Bangun

Hasil rancang bangun sistem monitoring ketinggian air menggunakan Arduino berbasis IoT dapat dilihat pada Gambar 3. Seluruh sistem monitoring ketinggian air diinstal dalam kotak panel yang dipasang pada tiang penopang sistem monitoring ketinggian air. Bagian atas tiang dilengkapi dengan panel surya. Spesifikasi sistem monitoring ketinggian air dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Hasil rancang bangun sistem monitoring ketinggian air

Tabel 1. Spesifikasi sistem monitoring ketinggian air hasil rancang bangun

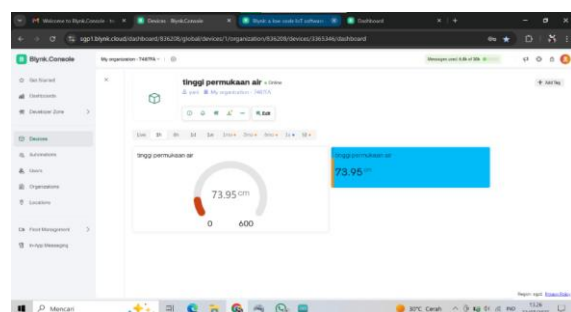
No	Komponen	Spesifikasi
1	Dimensi sistem monitoring	- Tinggi total 3,2 m - Tinggi sensor dari permukaan tanah 1,8 m - Diameter tiang utama 7,5 cm - Diameter lengan sensor 2,5 cm - Panjang lengan sensor 1,5 m
2	Mikrokontroler	ESP WROOM 32
3	Baterai	Baterai 12 V 5Ah
4	LCD display	LCD 16x2 tanpa I2C
5	Pengontrol arus listrik	Pengontrol arus listrik (solar charge controller) 10 A
6	Panel surya	Panel surya 50W
7	Potensioner	Potensiometer 50k
8	Sensor ultrasonik	Sensor AJ-SR04M
9	Platform IoT	Blynk

Hasil Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi, persen *error* dan RMSE pada sistem monitoring ketinggian air berbasis IoT dengan membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor dengan data pengukuran secara manual. Setiap perubahan ketinggian air diukur dengan meteran manual dan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang diberikan oleh sistem IoT. Proses ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem dalam memantau perubahan ketinggian air secara *real-time*, serta mengidentifikasi *error* pengukuran yang mungkin terjadi pada sensor

Tahapan awal penyetingan sistem adalah dengan melakukan kalibrasi pengukuran. Kalibrasi dilakukan dengan cara memastikan permukaan wadah yang diukur berada pada posisi nol yang diinginkan. Kemudian menekan tombol "push button" pada aplikasi Blynk untuk menambah angka pada nilai pengukuran yang ditampilkan. Nilai yang ditambahkan pada aplikasi Blynk akan mengurangi jarak yang terukur oleh sensor, sehingga menghasilkan nilai nol pada permukaan wadah yang diukur.

Berdasarkan hasil uji respon, diperoleh rata-rata waktu *delay* sekitar 1,37 detik dimulai dari deteksi ketinggian hingga data ditampilkan pada layar *handpone* atau komputer.



Gambar 4. Tampilan data ketinggian air secara *real-time* pada aplikasi Blynk

Data hasil uji kinerja sistem monitoring ketinggian air pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengukuran akurasi

No	Hasil pengukuran manual (Nm)	Hasil pengukuran sensor (Ns)	Akurasi (%)	Rata-rata akurasi	Persen error	No	Hasil pengukuran manual (Nm)	Hasil pengukuran sensor (Ns)	Akurasi (%)	Rata-rata akurasi	Persen error
1	5	4,31	86,20%	86,20%	13,80%	41	45	43,88	97,51%	97,19%	2,49%
2	5	4,31	86,20%		13,80%	42	45	43,84	97,42%		2,58%
3	5	4,31	86,20%		13,80%	43	45	43,83	97,40%		2,60%
4	5	4,31	86,20%		13,80%	44	45	43,42	96,49%		3,51%
5	5	4,31	86,20%		13,80%	45	45	43,71	97,13%		2,87%
6	10	9,10	91,00%	91,66%	9,00%	46	50	49,35	98,70%	97,76%	1,30%
7	10	9,17	91,70%		8,30%	47	50	48,95	97,90%		2,10%
8	10	9,15	91,50%		8,50%	48	50	48,52	97,04%		2,96%
9	10	9,19	91,90%		8,10%	49	50	48,83	97,66%		2,34%
10	10	9,22	92,20%		7,80%	50	50	48,74	97,48%		2,52%
11	15	13,89	92,60%	93,59%	7,40%	51	55	54,25	98,64%	98,32%	1,36%
12	15	14,01	93,40%		6,60%	52	55	54,31	98,75%		1,25%
13	15	13,91	92,73%		7,27%	53	55	53,94	98,07%		1,93%
14	15	14,37	95,80%		4,20%	54	55	53,97	98,13%		1,87%
15	15	14,01	93,40%		6,60%	55	55	53,92	98,04%		1,96%
16	20	19,84	99,20%	96,19%	0,80%	56	60	58,82	98,03%	97,95%	1,97%
17	20	19,13	95,65%		4,35%	57	60	58,82	98,03%		1,97%
18	20	19,08	95,40%		4,60%	58	60	58,84	98,07%		1,93%
19	20	19,01	95,05%		4,95%	59	60	58,99	98,32%		1,68%
20	20	19,13	95,65%		4,35%	60	60	58,39	97,32%		2,68%
21	25	23,6	94,40%	94,90%	5,60%	61	65	63,97	98,42%	98,54%	1,58%
22	25	23,75	95,00%		5,00%	62	65	63,87	98,26%		1,74%
23	25	23,72	94,88%		5,12%	63	65	63,44	97,60%		2,40%
24	25	23,77	95,08%		4,92%	64	65	64,55	99,31%		0,69%
25	25	23,79	95,16%		4,84%	65	65	64,44	99,14%		0,86%
26	30	29,01	96,70%	96,90%	3,30%	66	70	69,32	99,03%	98,48%	0,97%
27	30	29,07	96,90%		3,10%	67	70	68,90	98,43%		1,57%
28	30	29,02	96,73%		3,27%	68	70	68,68	98,11%		1,89%
29	30	29,11	97,03%		2,97%	69	70	68,93	98,47%		1,53%
30	30	29,14	97,13%		2,87%	70	70	68,85	98,36%		1,64%
31	35	33,70	96,29%	96,05%	3,71%	71	75	73,44	97,92%	98,49%	2,08%
32	35	33,63	96,09%		3,91%	72	75	73,89	98,52%		1,48%
33	35	33,63	96,09%		3,91%	73	75	74,01	98,68%		1,32%
34	35	33,58	95,94%		4,06%	74	75	73,95	98,60%		1,40%
35	35	33,55	95,86%		4,14%	75	75	74,04	98,72%		1,28%
36	40	38,92	97,30%	95,50%	2,70%	Rata-rata			95,85%		4,15%
37	40	38,05	95,13%		4,88%						
38	40	37,95	94,88%		5,12%						
39	40	37,98	94,95%		5,05%						
40	40	38,10	95,25%		4,75%						

Pengujian akurasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran secara manual (Nm) menggunakan meteran dan nilai pengukuran sensor (Ns) yang dihasilkan oleh sistem. Berdasarkan hasil pengukuran, rata-rata akurasi keseluruhan sistem adalah 95,85%. Angka ini menunjukkan bahwa, secara umum, sistem monitoring ketinggian air tersebut

menghasilkan nilai yang mendekati nilai pengukuran yang ditentukan.

Pengujian pada ketinggian air 5 cm memperoleh rata-rata akurasi 86,20%. Pengujian pada posisi ini menghasilkan nilai akurasi terendah dari seluruh hasil pengujian. Hal ini bisa disebabkan jarak sensor yang terlalu jauh menyebabkan pengukuran rentan terhadap fluktuasi atau *noise*.

Pengujian pada ketinggian air 10 cm menghasilkan nilai pengukuran bervariasi antara 9,10–9,22 cm dengan rata-rata akurasi pengukuran 91,66%. Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi peningkatan akurasi dibandingkan pengujian pada ketinggian air 5 cm. Pengujian pada ketinggian air 15 cm memperoleh nilai pengukuran 13,89–14,37 cm. Rata-rata akurasi pengukuran mengalami peningkatan menjadi 93,59%. Pengujian pada ketinggian air 20 cm menunjukkan hasil pengukuran antara 19,01–19,84 cm yang menghasilkan peningkatan akurasi rata-rata dibandingkan pengujian pada ketinggian air 15 cm dengan nilai 96,19%. Berdasarkan hasil pengukuran, pada pengujian ketinggian air dari 10 cm ke 20 cm, rata-rata akurasi pengukuran mengalami peningkatan secara konsisten.

Pengujian pada ketinggian air 25 cm sampai 40 cm menunjukkan rata-rata nilai pengukuran yang relatif stabil. Pengujian pada ketinggian air 25 cm, 30 cm, 35 cm dan 40 cm masing-masing menghasilkan rata-rata akurasi nilai pengukuran berada pada rentang 94,90%, 96,90%, 96,05%, dan 95,50%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada ketinggian air dengan rentang 25 sampai 40 cm sensor bekerja lebih relatif baik dari pengukuran pada rentang 5 sampai 20 cm.

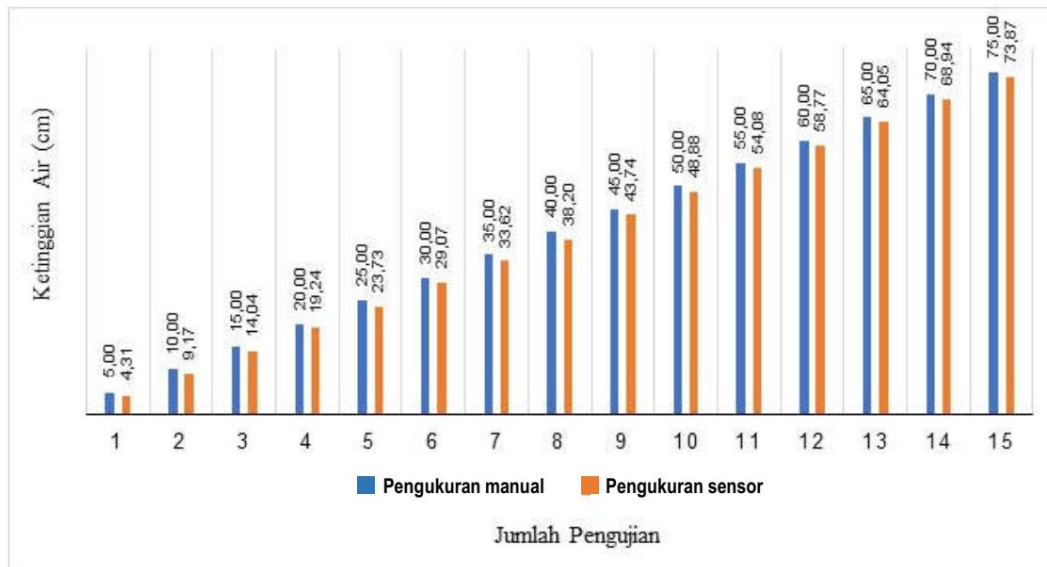
Pengujian pada ketinggian air 45 cm sampai 75 cm menghasilkan rata-rata peningkatan akurasi nilai pengukuran. Pada rentang ini, rata-rata akurasi mencapai di atas 96%, bahkan sebagian telah mencapai akurasi di atas 98%. Rata-rata akurasi tertinggi diperoleh pada ketinggian air 65 cm, dengan rata-rata akurasi nilai pengukuran 98,54%. Pengujian pada permukaan air yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik.

Berdasarkan data pengujian, rata-rata persentase *error* absolut yang menunjukkan

penyimpangan hasil pengukuran sensor terhadap nilai acuan pada sistem monitoring tinggi permukaan air mencapai 4,15%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sensor ultrasonik mampu menghasilkan pengukuran yang cukup akurat dengan tingkat kesalahan relatif rendah. Persentase *error* lebih besar ditemukan pada pengukuran permukaan air yang rendah, terutama pada rentang 5–15 cm, dan persentase *error* menurun seiring bertambahnya tinggi permukaan air. Hasil penelitian ini menghasilkan rata-rata persentase *error* yang sedikit lebih tinggi dari beberapa penelitian lain dengan nilai 1,36% [17] dan 1,35% [20]. Pada penelitian lainnya, rata-rata *error* untuk ketinggian air aliran tetap (tunak) adalah 2,93% dan aliran transien (tidak tunak) adalah 1,38% [9].

Nilai RMSE hasil perhitungan diperoleh sebesar 1,1412 cm yang menunjukkan nilai rata-rata penyimpangan hasil pengukuran sensor terhadap nilai acuan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem monitoring memiliki tingkat akurasi dan konsistensi pengukuran yang cukup baik. Nilai RMSE penelitian ini lebih tinggi dari penelitian lain [21] dengan nilai RMSE 0,311 cm, namun lebih rendah dari penelitian lain [22] yang menghasilkan nilai 5,0 cm namun pada rentang jarak pengujian yang lebih besar yaitu 20 cm–720 cm.

Tingginya nilai RMSE umumnya disebabkan beberapa faktor antara lain tingkat presisi sensor, proses kalibrasi yang tepat, serta kondisi lingkungan seperti noise pada permukaan air. Pada penelitian ini, nilai RMSE yang lebih tinggi dihasilkan dari penelitian lainnya karena rentang jarak pengukuran yang lebih besar sehingga penyimpangan yang dihasilkan juga lebih tinggi.



Gambar 5. Grafik perbandingan rata-rata nilai pengukuran manual sebagai acuan dan pengukuran sensor

Grafik pada Gambar 5 yang disajikan menunjukkan perbandingan antara nilai pengukuran manual dan nilai pengukuran sensor. Nilai pengukuran manual disajikan dengan batang berwarna biru, sedangkan nilai pengukuran sensor disajikan dengan diagram batang berwarna oranye.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap grafik tersebut, terlihat bahwa pada seluruh pengujian, nilai pengukuran sensor selalu berada di bawah nilai pengukuran manual. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat kecenderungan pada sensor yang digunakan menghasilkan nilai yang lebih rendah daripada nilai pengukuran manual.

Berdasarkan data hasil pengukuran, terlihat bahwa akurasi sistem monitoring ketinggian air menunjukkan kinerja yang cukup baik dengan tingkat akurasi cenderung meningkat dengan bertambahnya tinggi permukaan air. Artinya, sensor memiliki akurasi lebih baik ketika mendeteksi jarak yang semakin dekat. Rata-rata akurasi sebesar 95,85% mencerminkan kinerja yang cukup baik dalam pengukuran secara keseluruhan.

Sistem monitoring hasil rancang bangun memiliki akurasi pengukuran lebih baik untuk mengukur permukaan air yang lebih tinggi. Semakin tinggi permukaan air, artinya semakin dekat jarak sensor dengan

permukaan air. Penjelasan ini sesuai dengan beberapa penelitian yang menyatakan bahwa akurasi sensor ultrasonik akan menurun jika jarak pengukuran bertambah, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, atenuasi sinyal, dan karakteristik sensor itu sendiri [23,24]

4. Kesimpulan

Sistem monitoring ketinggian air berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik AJ-SR04M, panel surya 50 W, dan platform Blynk. Sensor ultrasonic dioperasikan pada rentang jarak 2,27 – 2,97 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan ketinggian air secara *real-time* dengan rata-rata akurasi sebesar 95,85%. Rata-rata persentase *error* absolut pengukuran mencapai 4,15% dengan nilai RMSE hasil perhitungan sebesar 1,1412 cm. Akurasi pengukuran cenderung meningkat pada permukaan air yang lebih tinggi (mendekati sensor), sehingga sistem dinilai layak digunakan untuk mendukung pemantauan dan pengelolaan ketinggian air secara jarak jauh.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Sambas dan Pusat

Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Sambas yang telah membiayai kegiatan penelitian ini melalui dana DIPA Poltesa tahun 2025.

Referensi

- [1] Windiasmoro RD, Rakhmawati L, Widayaka PD, Zuhrie MS. Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Pintu Air Otomatis Pengendali Banjir Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro* 2024;13:41–8.
- [2] Dahira, Rasyid N, Rasyid MR. Prototype Sistem Monitoring Pintu Air Otomatis pada Bendungan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan* 2024;12. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3635>.
- [3] Ramadhan TF, Triono W. Sistem Monitoring Ketinggian Air Dan Pengendalian Pintu Air Berbasis Microcontroller Nodecode Mcu Esp8266. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi* 2021;10:81–7.
- [4] Rizaldi FM, Sujjada A. Prototype Sistem Buka Tutup Pintu Air Otomatis Menggunakan Prakiraan Cuaca. *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer Dan Informatika)* 2022;6:1248–55.
- [5] Khoirunisa I, Budiman B, Kurniasih R. Pengaruh kadar air tanah tersedia dan pengelolaan pupuk terhadap pertumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*). *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)* 2022;5:138–46.
- [6] Widodo H, Mudjiono U, Poetro JE, Rahmat MB, Azhiim RAAT. Desain Pintu Air Otomatis Berbasis Mikrokontroler untuk Meningkatkan Efisiensi PLTMH di Desa Kalianan, Probolinggo. *Jurnal Cakrawala Maritim* 2025;8:52–63.
- [7] Pradipta F, Rohmah RN. Rancang Bangun Model Sistem Kendali Pintu Air Otomatis Berbasis Arduino untuk Irigasi Sawah. *Surakarta*: 2025.
- [8] Andika AP, Letsoin Y, Rusdi M, Widianama BM. Rancang Bangun Miniatur Sistem Pengendali Pintu Air Otomatis Berbasis Arduino Uno. *Innovative: Journal Of Social Science Research* 2024;4:9352–61.
- [9] Pereira TSR, de Carvalho TP, Mendes TA, Formiga KTM. Evaluation of water level in flowing channels using ultrasonic sensors. *Sustainability* 2022;14:5512.
- [10] Mohammed SL, Al-Naji A, Farjo MM, Chahl J. Highly accurate water level measurement system using a microcontroller and an ultrasonic sensor. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 518, IOP Publishing; 2019, p. 042025.
- [11] Al-Shareeda MA, Ali AM, Hammoud MA, Kazem ZHM, Hussein MA. Secure IoT-based real-time water level monitoring system using ESP32 for critical infrastructure. *Journal of Cyber Security and Risk Auditing* 2025;2025:44–52.
- [12] Mulyani A, Kurniadi D, Saputra RE. IoT-Based Real-Time River Monitoring and Early Flood Warning Using ESP32 and HC-SR04. *Journal of Novel Engineering Science and Technology* 2026;5:55–62.
- [13] Azmi AFU, Mustika SN, Noerhayati E, Rochman BA, Mohamad IN. Modelling And Laboratory Test of An IoT-Solar Energy Based Automatic Irrigation Gate System. *BIO Web Conf.*, vol. 209, EDP Sciences; 2026, p. 04011.
- [14] Apriani W, Nopriandy F, Suhendra S, Rianto A. Pengembangan Alat Angkut TBS Kelapa Sawit dengan Sistem Timbangan dan Pencurahan Bahan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 2023;12.
- [15] Fahrizal I, Nopriandy F. Uji Kinerja Mesin Pemotong Adonan Kerupuk Otomatis dengan Pengaturan

- Ketebalan Potongan. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material* 2024;8:145–51.
- [16] Anjiu LD, Nopriandy F, BN IF. Pengembangan Mesin Pembentuk Ekor Peluru pada Senjata Sumpit dengan Pemakanan Otomatis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material* 2025;9:249–57.
- [17] Kunlerd A, Nabumroong B, Vongvas N, Lakharapol T, Ruttanapraser R, Burana K. A Solar Powered Ultrasonic Water Level Monitoring System with IoT Type for Small-Scale Agricultural Water Management. *Recent Science and Technology* 2026;18:e269459. <https://doi.org/10.65411/rst.2026.269459>.
- [18] Haider A, Pigniczki M, Köhler MH, Fink M, Schardt M, Cichy Y, et al. Development of High-Fidelity Automotive LiDAR Sensor Model with Standardized Interfaces. *Sensors* 2022;22. <https://doi.org/10.3390/s22197556>.
- [19] Gimpelj J, Munih M. Assessing Geometry Perception of Direct Time-of-Flight Sensors for Robotic Safety. *Sensors* 2025;25. <https://doi.org/10.3390/s25144385>.
- [20] Zhao X, Zhai C, Wang S, Dou H, Yang S, Wang X, et al. Sprayer boom height measurement in wheat field using ultrasonic sensor: An exploratory study. *Front Plant Sci* 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008122>.
- [21] Tungatarova A, Borankulova G, Murzakhmetov A, Yeraliyeva B, Dulatbayeva S, Bekbolatov S, et al. Hybrid IoT-VIoT System for Real-Time Water-Level Monitoring Using Computer Vision. *Computers* 2026;15:373. <https://doi.org/10.3390/computers15060373>.
- [22] Masoudimoghaddam M, Yazdi J, Shahsavandi M. A low-cost ultrasonic sensor for online monitoring of water levels in rivers and channels. *Flow Measurement and Instrumentation* 2025;102:102777.
- [23] Hunter D. Analysis of the Measurement Error From a Low-Cost Ultrasonic Sensor. *Edward Waters University Undergraduate Research Journal* 2023;1.
- [24] Yatsyshyn S, Nazarkevych I, Mastylo R. Calibration of the Ultrasonic Sensor-Range Finder by the Laser Interferometer. *Meas Equip Metrol* 2020;81:10–7.