Jurnal Teliska
Volume 19 No.3 November 2026
Doi: 10.36257/teliska.v19i3.12630

P-ISSN: 2085-0786
E-ISSN: 2654-2765

SISTEM MONITORING LEVEL AIR DAN PENGENDALIAN POMPA OTOMATIS BERBASIS SENSOR ULTRASONIK A02YY4W DAN ESP32

Fauzan Amri[1,2*], Raditya Rahmat Dhani[3], Muhamad Iqbal Alfarizi[4], Tri Haryanti[5], Bobi Khoerun[6], Doli Bonardo[7]

[1,3,4,6]Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Indonesia
[2]Teknologi Rekayasa Material Maju, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia
[5]Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Indonesia
[7]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji
*Email korespondensi: fauzanamri@polindra.ac.id

Submitted : 12 September 2026 | **Accepted** : 3 November 2026 | **Published** : 11 November 2026

ABSTRAK

Pengisian tandon air secara manual berpotensi menyebabkan luapan air dan pemborosan energi listrik. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemantauan level air dan pengendalian pompa otomatis berbasis sensor ultrasonik tahan air A02YY4W dan ESP32 dengan *web server* lokal. Dengan metode eksperimental berbasis *prototype*, ESP32 mengonversi jarak sensor menjadi tinggi dan persentase level air, lalu mengendalikan pompa melalui relay dengan kendali histeresis dua ambang (pompa aktif pada 0% dan berhenti pada 100%). Kalibrasi pada 10 titik 10–100 cm menghasilkan *mean absolute error* (MAE) 0,60 cm, *root mean square error* (RMSE) 0,62 cm, bias +0,08 cm, dan R^2 = 0,9995; seluruh selisih berada di bawah ±1 cm sesuai batas akurasi pabrikan. Pengujian pengisian dari level awal 0%, 25%, dan 50% (masing-masing satu kali) menghasilkan keberhasilan penghentian pompa 100%, *overshoot* rata-rata ≈1,8 cm, dan waktu respons relay ≤10 ms. Simpangan baku pembacaan saat permukaan tenang sebesar 0,37 cm pada level awal 50%, tetapi meningkat menjadi 4,77 cm dengan enam lonjakan pada level awal 0%, sehingga kestabilan pembacaan menurun pada level air rendah. Sistem layak digunakan untuk pemantauan level air dan pengendalian pompa otomatis skala prototipe.

Kata kunci: ESP32; sensor ultrasonik A02YY4W; RS485; kendali histeresis; level air; *web server* lokal

ABSTRACT

Manual filling of water tanks can cause water overflow and wasted electrical energy. This study develops and evaluates a water level monitoring and automatic pump control system based on the A02YY4W waterproof ultrasonic sensor and an ESP32 with a local web server. Using an experimental prototype approach, the ESP32 converts the sensor distance into water level height and percentage, then controls the pump through a relay using two-threshold hysteresis control (start at 0%, stop at 100%). Calibration at 10 heights from 10 to 100 cm yielded a mean absolute error (MAE) of 0.60 cm, a root mean square error (RMSE) of 0.62 cm, a bias of +0.08 cm, and R^2 = 0.9995; all deviations were within ±1 cm, in accordance with the manufacturer's accuracy limit. Filling tests from initial levels of 0%, 25%, and 50% (one run each) resulted in a 100% pump shutdown success rate, an average overshoot of ≈1.8 cm, and a relay response time of ≤10 ms. The standard deviation of readings at a calm surface was 0.37 cm at an initial level of 50%, but increased to 4.77 cm with six spikes at an initial level of 0%, indicating lower reading stability at low water levels. The system is suitable for prototype-scale water level monitoring and automatic pump control.

Keywords: ESP32; A02YY4W ultrasonic sensor; RS485; hysteresis control; water level; local web server

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air rumah tangga umumnya dijaga melalui tandon yang diisi menggunakan pompa. Pengoperasian pompa secara manual berpotensi membuat pompa tetap bekerja ketika tandon telah penuh sehingga air meluap dan energi listrik terbuang [1]. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang memantau level air dan mengatur operasi pompa secara otomatis.

Penelitian terkait mencakup kendali histeresis dengan sensor ultrasonik dan relai [2], pemantauan tandon berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan JSN-SR04T [3]; *smart water tank* dengan konfigurasi *dual tank* dan filtrasi otomatis [4], otomatisasi aliran air dengan sensor *water flow* dan notifikasi Telegram [5], pemantauan dengan NodeMCU ESP8266 dan Blynk [6], serta otomatisasi pompa berbasis ESP32 dengan

akurasi 98,4% dan waktu respons 1,8 detik [7]. Perbandingan penelitian tersebut dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini

Penelitian	Sensor dan antarmuka	Metode kendali	Media pemantauan	Metrik kinerja yang dilaporkan	Keterbatasan
[2]	Ultrasonik; sinyal pulsa	Histeresis ON/OFF, relai	Antarmuka lokal (Processing)	Rentang 5–25 cm; *error* 4,93%; tanpa *chattering* relai	Tanpa pemantauan berbasis jaringan
[3]	JSN-SR04T; *trigger/echo*	Fokus pemantauan	Blynk (*smartphone*/web)	*Error* rata-rata 1,94%	Bergantung koneksi internet
[6]	Ultrasonik; NodeMCU ESP8266	Relay ON/OFF melalui aplikasi	Blynk (pihak ketiga)	Tidak dilaporkan pada abstrak	Bergantung pihak ketiga dan internet
[7]	Ultrasonik; ESP32	ON/OFF otomatis berbasis ambang	IoT (Blynk)	Akurasi 98,4%; respons 1,8 s	Bergantung pihak ketiga dan internet
Penelitian ini	Ultrasonik A02YY4W (IP67); RS485 diferensial	Histeresis dua ambang, dapat diatur dari web	*Web server* lokal ESP32 + ekspor log CSV	MAE, RMSE, bias, R^2, keberhasilan ON/OFF, *overshoot*, respons, latensi	Skala prototipe; RS485 kabel panjang belum diuji

Sebagian besar penelitian tersebut memakai sensor ultrasonik berantarmuka pulsa *trigger/echo* atau UART TTL yang ditujukan untuk kabel pendek, padahal sensor pada tandon nyata dipasang jauh di atas panel kendali sehingga memerlukan kabel sinyal panjang yang berdekatan dengan kabel daya 220 VAC. RS485 menggunakan sinyal diferensial dengan penolakan derau mode bersama (*common-mode rejection*) tinggi dan jarak transmisi hingga sekitar 1.200 m [8]; keunggulan ini dirujuk dari literatur dan belum diuji pada penelitian ini. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya bergantung pada platform IoT pihak ketiga dan belum melaporkan metrik kinerja kendali, seperti ketepatan penghentian pompa dan waktu respons aktuator.

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan level air dan pengendalian pompa otomatis menggunakan sensor ultrasonik A02YY4W dan ESP32 dengan kendali histeresis dua ambang serta *web server* lokal yang tidak bergantung pada layanan pihak ketiga; sensor LM35 ditambahkan sebagai informasi suhu air pelengkap. Penelitian ini mengukur: (1) kesalahan pengukuran level terhadap alat ukur referensi; (2) ketepatan *switching* pompa pada ambang, yang dinyatakan dengan keberhasilan *switching*, *overshoot*, dan waktu respons; serta (3) kinerja pemantauan lokal, yaitu latensi pembaruan data dan kesesuaian nilai antarmuka terhadap pembacaan sensor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komponen Sistem

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis *system-on-chip* (SoC) dari Espressif Systems dengan prosesor *dual-core* Tensilica LX6 hingga 240 MHz, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta periferal GPIO, ADC, UART, SPI, dan I2C [9]. Sensor ultrasonik A02YY4W merupakan varian keluaran RS485 dari seri sensor jarak ultrasonik tahan air DYP-A02. Jarak d antara sensor dan permukaan air dihitung dari waktu tempuh gelombang t dan cepat rambat bunyi di udara v menggunakan Persamaan (1), dengan faktor 2 karena gelombang menempuh lintasan pergi dan kembali.

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

Sensor ultrasonik A02YY4W memiliki rentang ukur 3–450 cm dengan zona buta 3 cm, resolusi 1 mm, akurasi ±(1 + 0,3%·*S*) cm dengan *S* adalah jarak terukur, catu 5–24 VDC dengan arus kerja ≤15 mA, suhu operasi −15 hingga +60 °C, proteksi IP67, dan kompensasi suhu internal [10]. Data jarak dikirim melalui RS485 *half-duplex* dengan protokol Modbus-RTU (alamat *slave* 0x01, fungsi 0x03, register 0x0100) pada 9600 bps, 8N1, lalu dikonversi oleh modul RS485 to TTL menjadi UART ESP32 [15]. Transmisi diferensial pada pasangan kabel A dan B lebih tahan gangguan elektromagnetik daripada UART TTL langsung dan memungkinkan beberapa perangkat pada satu jalur [8].
LM35 menghasilkan tegangan linear 10 mV/°C [11] dengan akurasi ±0,5 °C pada suhu ruang, rentang −55 hingga 150 °C, dan catu 4–30 V [12]; versi *probe* kedap air digunakan sebagai **informasi tambahan** suhu air dan **tidak digunakan** dalam logika kendali. Relay SRD-05VDC-SL-C (kumparan 5 VDC, kontak 10 A/250 VAC) pada modul *active-low* menyakelarkan pompa 220 VAC dengan isolasi galvanis antara rangkaian kendali dan beban [13]. Konverter *buck* XL4015 (PWM 180 kHz, keluaran hingga 5 A, masukan hingga 36 V) menurunkan tegangan adaptor 12 VDC menjadi 5 VDC untuk seluruh modul [14].

2.2 Konversi Jarak menjadi Level Air dan Kendali Histeresis

Jarak *d* dikonversi menjadi tinggi air *H* menggunakan Persamaan (2), dengan H_t adalah jarak sensor ke dasar wadah, lalu dinyatakan sebagai persentase level *L* menggunakan Persamaan (3), dengan H_{maks} adalah tinggi air yang ditetapkan sebagai level 100%.

$$H = H_t - d \quad (2)$$

$$L = \frac{H}{H_{\text{maks}}} \times 100\% \quad (3)$$

Pompa dikendalikan dengan kendali dua posisi (ON/OFF) dengan celah diferensial atau histeresis [16]. Pompa diaktifkan ketika level turun hingga atau di bawah ambang bawah L_{ON}, dihentikan ketika level mencapai atau melebihi ambang atas L_{OFF}, dan statusnya dipertahankan ketika level berada di antara kedua ambang, sebagaimana Persamaan (4), dengan $u(k)$ adalah status pompa pada siklus ke-*k*. Celah histeresis ($L_{\text{OFF}} - L_{\text{ON}}$) mencegah pompa menyala dan mati berulang kali (*chattering*) akibat fluktuasi pembacaan di sekitar ambang sehingga lebar celah harus jauh lebih besar daripada kesalahan pembacaan sensor.

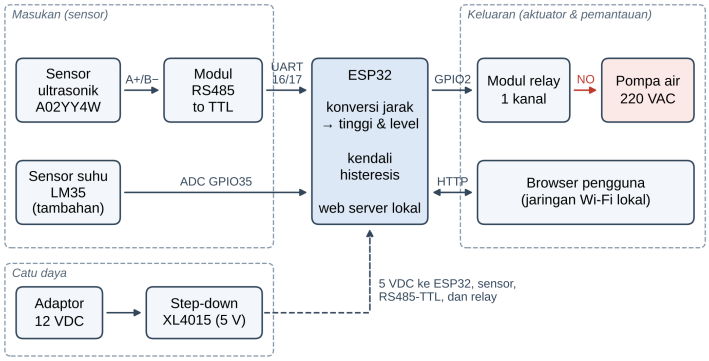
$$u(k) = \begin{cases} 1 \text{ (pompa ON)}, & \text{jika } L \le L_{\text{ON}} \\ 0 \text{ (pompa OFF)}, & \text{jika } L \ge L_{\text{OFF}} \\ u(k-1), & \text{jika } L_{\text{ON}} < L < L_{\text{OFF}} \end{cases} \quad (4)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Desain dan Implementasi Sistem

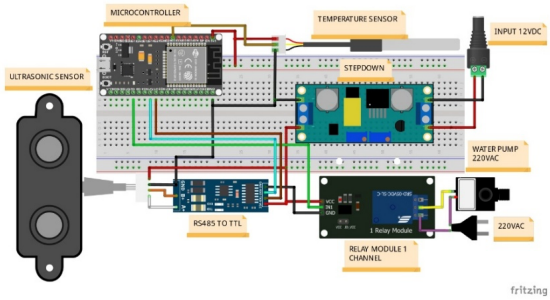
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan *prototype* untuk menguji kinerja sistem pada kondisi terkendali. Komponen yang digunakan meliputi ESP32-WROOM-32, sensor ultrasonik A02YY4W, modul RS485 to TTL berbasis MAX485 dengan arah data otomatis (tanpa pin DE/RE), modul relay 1 kanal, pompa celup 8 W (200–240 VAC, debit maksimum 1000 L/jam), adaptor

12 VDC 2 A dengan XL4015, LM35 tahan air, galon uji (jarak sensor ke dasar 35 cm; jarak 0% = 33 cm dan 100% = ±10 cm; rentang terukur 23 cm; ±4 L), serta penggaris sebagai alat ukur referensi. Komponen tersebut dirangkai sesuai diagram blok sistem pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem

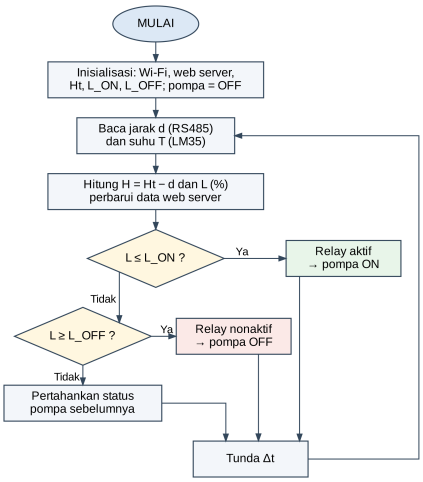
Sensor ultrasonik A02YY4W mengirim data jarak melalui jalur diferensial A+/B− ke modul RS485 to TTL yang terhubung ke GPIO16 (RX2) dan GPIO17 (TX2) ESP32, sedangkan LM35 terhubung ke masukan ADC GPIO33. Relay pada GPIO2 menyambung suplai 220 VAC ke pompa melalui kontak *normally open* (NO); pengkabelan ditunjukkan pada Gambar 2. Setiap 0,8 detik, ESP32 mengirim perintah baca Modbus-RTU ke register jarak dan menerima *frame* respons 7 byte (batas waktu 300 ms); nilai jarak dikonversi ke cm, dibatasi pada rentang 2–200 cm, lalu dihaluskan dengan rata-rata bergerak lima pembacaan. Secara paralel, ESP32 menjalankan *web server* lokal yang diakses melalui *browser* pada jaringan Wi-Fi yang sama.



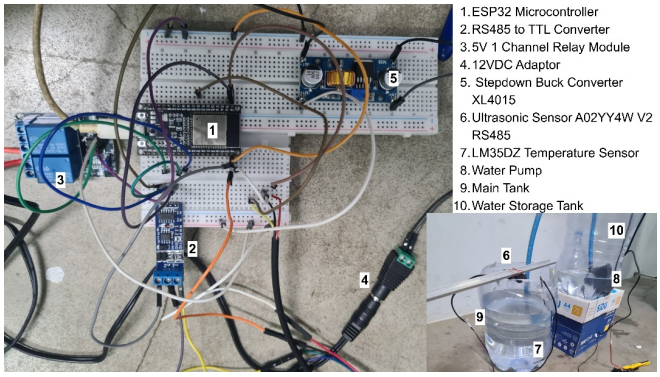
Gambar 2. Wiring diagram sistem

Sesuai diagram alir pada Gambar 3, ESP32 membaca jarak dan suhu, menghitung level dengan Persamaan (2) dan (3), memperbarui data *web server*, lalu menjalankan logika histeresis Persamaan (4) dengan L_{OFF} = 100% (33 cm). Siklus diulang setiap Δt = 800 ms dan data dicatat setiap 5 detik. Pengujian dilakukan pada L_{ON} = 0% (0 cm), 25% (8,3 cm), dan 50% (16,5 cm) dengan L_{OFF} tetap 100%; nilai H_t, L_{ON}, dan L_{OFF} dapat diatur melalui menu pengaturan antarmuka web. Purwarupa ditunjukkan pada Gambar 4. Sensor dipasang di atas tengah wadah, tegak lurus ke permukaan air pada ketinggian 33 cm dari dasar sehingga jarak minimum pada level 100% tetap di luar zona buta 3 cm.

DOI: 10.36257/teliska.v19i3.12630
Jurnal Teliska, Vol.19 No. 3, Tahun 2026



Gambar 3. Diagram alir sistem dengan kendali histeresis



Gambar 4. Implementasi perangkat keras sistem

3.2 Aspek Keselamatan Listrik

Jalur 220 VAC hanya terhubung ke pompa melalui kontak relay yang terisolasi dari kumparannya, dan rangkaian kendali ditempatkan di luar wadah uji (Gambar 4). Rating kontak 10 A/250 VAC jauh di atas arus nominal pompa 0,04 A (8 W, 220 VAC) untuk mengakomodasi arus lonjakan motor. Untuk penerapan lapangan disarankan kotak panel non-konduktif di atas level air maksimum, sekring atau MCB, pembumian rangka pompa, RCD/ELCB 30 mA, isolasi penuh sambungan 220 VAC, dan *cable gland*.

3.3 Prosedur Kalibrasi Sensor

Karena wadah uji hanya setinggi 33 cm, kalibrasi pada rentang 10–100 cm dilakukan terpisah terhadap bidang pantul datar berupa dinding, dengan sensor tegak lurus ke dinding dan nilai aktual diukur menggunakan penggaris dari permukaan transduser hingga dinding. Pengukuran dilakukan pada 10 titik (10, 20, 30, …, 100 cm) setelah pembacaan sensor stabil, dan setiap titik dicatat satu kali. Selisih pembacaan dihitung dengan Persamaan (5), dengan $X_{s,i}$ adalah pembacaan sensor dan $X_{a,i}$ adalah nilai aktual pada titik ke-i. Kinerja pengukuran dinyatakan dengan MAE, RMSE, persentase *error*, dan simpangan baku selisih s menggunakan Persamaan (6)–(9), dengan n adalah jumlah data dan $\bar{E}$ adalah rata-rata selisih bertanda (bias). Pendekatan ini mengacu pada Ding, dkk. [17].

$$E_i = X_{s,i} - X_{a,i} \tag{5}$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|E_i| \tag{6}$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}E_i^2} \tag{7}$$

$$e_i = \frac{|E_i|}{X_{a,i}} \times 100\% \tag{8}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i - \bar{E}\right)^2}{n-1}} \tag{9}$$

3.4 Prosedur Pengujian Kendali Pompa dan Antarmuka Web

Pengujian kendali dilakukan pada galon dengan H_{maks} = 33 cm dan volume ±4 L, dengan pompa celup 8 W (debit efektif ≈4–5 L/menit) yang mengalirkan air dari wadah penampung. Pengujian dilakukan dari

level awal 0%, 25%, dan 50%, masing-masing satu kali, hingga pompa berhenti pada ambang atas. Data dicatat ESP32 setiap 5 detik ke log CSV. Untuk setiap percobaan dihitung: (1) waktu pengisian dari pompa ON hingga OFF; (2) *overshoot* dengan Persamaan (10), dengan H_{akhir} adalah tinggi air stabil setelah pompa berhenti dan H_{OFF} adalah tinggi pada ambang atas; (3) waktu respons relay dengan Persamaan (11), dengan t_{ambang} adalah waktu pembacaan pertama yang melampaui ambang dan t_{relay} adalah waktu relay berubah status; (4) keberhasilan *switching*, yaitu persentase percobaan dengan pompa menyala pada L_{ON} dan berhenti pada L_{OFF} tanpa *switching* palsu; serta (5) fluktuasi pembacaan, yaitu simpangan baku pada permukaan tenang.

$$\text{OS} = H_{\text{akhir}} - H_{\text{OFF}} \tag{10}$$

$$t_{\text{r}} = t_{\text{relay}} - t_{\text{ambang}} \tag{11}$$

Antarmuka web diuji melalui laptop pada jaringan lokal dengan parameter latensi pembaruan data, keberhasilan akses, kesesuaian nilai yang ditampilkan terhadap log serial, dan perilaku sistem ketika koneksi Wi-Fi diputus.

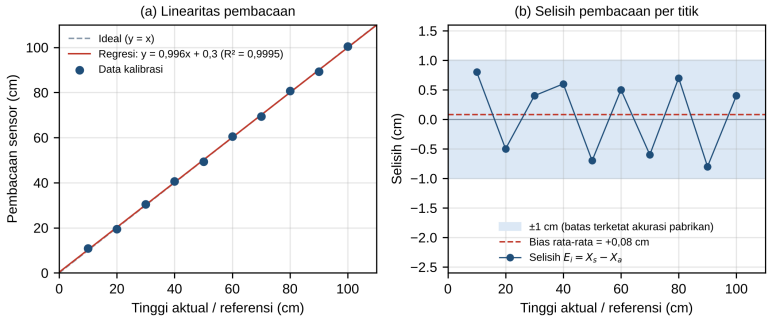
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Sensor

Hasil kalibrasi sensor ultrasonik A02YY4W pada 10 titik ketinggian disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 5. Baris selisih bertanda (E_{i}) menunjukkan arah penyimpangan.

Tabel 2. Perbandingan pembacaan ketinggian air oleh sensor ultrasonik dan alat ukur referensi pada 10 titik kalibrasi

Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Tinggi aktual X_{a} (cm)	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	–
Pembacaan sensor X_{s} (cm)	10,8	19,5	30,4	40,6	49,3	60,5	69,4	80,7	89,2	100,4	–
Selisih E_{i} (cm)	+0,8	−0,5	+0,4	+0,6	−0,7	+0,5	−0,6	+0,7	−0,8	+0,4	+0,08
$\lvert E_{\text{i}} \rvert$ (cm)	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,60
Error (%)	8,00	2,50	1,33	1,50	1,40	0,83	0,86	0,87	0,89	0,40	1,86



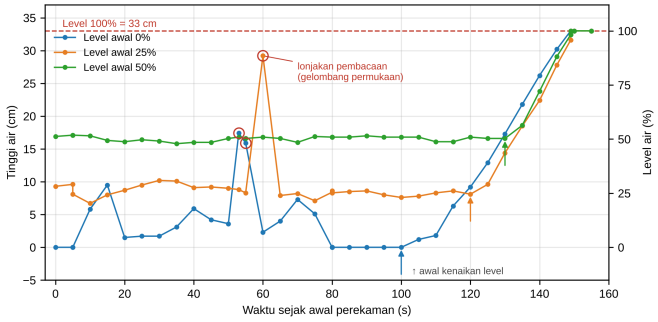
Gambar 5. (a) Linearitas pembacaan sensor terhadap nilai aktual; (b) selisih pembacaan pada setiap titik kalibrasi

Berdasarkan Persamaan (6)–(9), kalibrasi menghasilkan MAE 0,60 cm, RMSE 0,62 cm, simpangan baku selisih 0,64 cm, dan selisih absolut maksimum 0,80 cm (pada 10 cm dan 90 cm). Selisih bertanda berganti tanda secara acak (lima positif dan lima negatif dengan bias +0,08 cm) sehingga kesalahan bersifat acak dan tidak memerlukan koreksi *offset*. Regresi linear X_{s} = 0,996 X_{a} + 0,30 dengan R^2 = 0,9995 menunjukkan hubungan sangat linear, dan seluruh selisih absolut berada di bawah ±1 cm, yaitu batas akurasi pabrikan yang paling ketat (Gambar 5b) [10].

Persentase *error* terbesar (8,00%) pada 10 cm muncul karena pembaginya kecil, bukan karena selisih absolut yang lebih besar; selisih 0,8 cm yang sama pada 90 cm hanya menghasilkan 0,89%. Tanpa titik 10 cm, *error* rata-rata turun menjadi 1,18%. Pada rentang terukur wadah 23 cm, selisih maksimum 0,8 cm setara dengan 3,5% level, jauh lebih kecil daripada celah histeresis yang diuji (50–100%), sehingga kesalahan statis sensor tidak memicu *switching* palsu. Data Tabel 2 merupakan satu pembacaan per titik sehingga keterulangan pembacaan belum dievaluasi. *Error* rata-rata 1,86% berada pada orde yang sama dengan 1,94% pada JSN-SR04T [3] dan ≈1,6% (akurasi 98,4%) [7], tetapi perbandingan ini hanya indikatif karena rentang, referensi, jumlah titik, dan prosedur pengujian berbeda.

4.2 Kinerja Kendali Pengisian Air

Rekaman tinggi air setiap skenario ditunjukkan pada Gambar 6 (interval ±5 s, 38 sampel); status pompa tidak tercatat pada log ini. Karakteristik pembacaan dirangkum pada Tabel 3, dengan fase awal adalah rentang sebelum kenaikan level dan lonjakan adalah sampel yang menyimpang lebih dari 3 cm dari median bergerak lima sampel.



Gambar 6. Tinggi air terhadap waktu pada pengisian otomatis dari level awal 0%, 25%, dan 50% (satu percobaan per skenario)

Tabel 3. Karakteristik pembacaan dan pengisian berdasarkan data Gambar 6

Skenario (acuan)	Median awal (cm)	Rentang fase awal (cm)	SD semua sampel (cm)	SD tanpa lonjakan (cm)	Lonjakan > 3 cm	Durasi naik (s)	Laju naik (cm/s)
0% (0 cm)	1,7	0,0–17,4	4,77	2,04	6 dari 25	49	0,67
25% (8,25 cm)	8,5	6,7–29,2	3,92	0,80	1 dari 29	29	0,86
50% (16,5 cm)	16,8	15,8–17,1	0,37	0,37	0 dari 31	19	0,86

Pembacaan skenario 50% sangat stabil (simpangan baku 0,37 cm tanpa lonjakan, sebanding dengan RMSE kalibrasi); skenario 25% memiliki satu lonjakan hingga 29,2 cm pada detik ke-60; sedangkan skenario 0% paling tidak stabil (simpangan baku 4,77 cm dan enam lonjakan dari 25 sampel). Kestabilan menurun pada level rendah karena berkas ultrasonik yang menyebar pada jarak terjauh lebih mudah mengenai dinding dan dasar galon, serta lapisan air dangkal lebih mudah bergelombang. Hal ini sejalan dengan Pereira, dkk. [18] bahwa ketidakstabilan permukaan dan turbulensi meningkatkan *error* sensor ultrasonik, serta Bae dan Ji [19] yang melaporkan *outlier* akibat gelombang permukaan.

Laju kenaikan level 0,86 cm/s pada skenario 25% dan 50% serta 0,67 cm/s pada skenario 0%; laju lebih rendah ini berasal dari awal kenaikan (0 → 1,8 cm dalam 10 s) akibat pengisian pipa dan bentuk dasar wadah. Durasi kenaikan hingga 33 cm adalah 49 s, 29 s, dan 19 s (ketidakpastian ±5 s). Tinggi tercatat tetap 33,0 cm setelah level penuh karena dibatasi (*clamp*) pada H_{maks} oleh program sehingga *overshoot*

diamati dari kolom jarak sensor yang tidak dibatasi: permukaan air masih naik sekitar 2 cm setelah kejadian *Pump Stop* dan tenang dalam sekitar 10 s.

Lonjakan 29,2 cm (88%) tidak mencapai L_{OFF} = 100%, tetapi lonjakan serupa di dekat ambang berpotensi menghentikan atau menyalakan pompa secara keliru. Risiko ini dapat dikurangi dengan filter median atau dengan mensyaratkan beberapa sampel berturut-turut melewati ambang. Kinerja kendali pompa dirangkum pada Tabel 4.

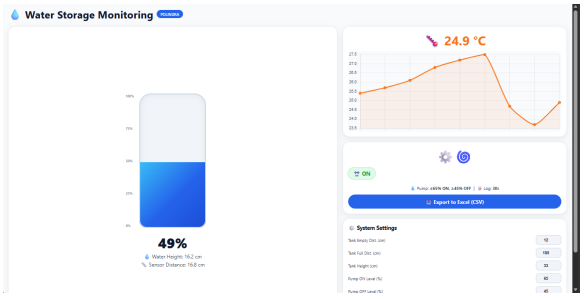
Tabel 4. Hasil pengujian kendali pompa (satu percobaan per skenario)

Skenario	Level ON (cm)	Level OFF (cm)	Waktu isi (s)	*Overshoot* (cm)	Respons relay (ms)	Keberhasilan ON/OFF
0%	0	33,0	49	1,8	≤ 10	ON ✓, OFF ✓
25%	8,3	33,0	29	≥ 1,4	≤ 10	ON ✓, OFF ✓
50%	16,6	33,0	19	2,1	≤ 10	ON ✓, OFF ✓
Seluruh	–	33,0	–	≈ 1,8 (1,4–2,1)	≤ 10	100% (3/3)

Pompa berhenti pada level 33,0 cm (100%) pada ketiga skenario, setara jarak sensor 9,5–10,0 cm atau deviasi rata-rata −0,27 cm (simpangan baku 0,25 cm) terhadap jarak penuh 10,0 cm. *Overshoot* rata-rata ≈1,8 cm (1,4–2,1 cm) diperkirakan berasal dari sisa aliran dalam pipa, gelombang permukaan, dan tundaan filter rata-rata bergerak. Waktu respons relay ≤10 ms jauh lebih kecil daripada siklus pembacaan 800 ms sehingga keterlambatan penghentian lebih ditentukan oleh periode pembacaan; pada laju 0,86 cm/s (debit ≈6,2 L/menit), satu siklus setara kenaikan level ≈0,7 cm. Keberhasilan *switching* 100% (3/3) menunjukkan logika histeresis bekerja pada kondisi uji, tetapi jumlah percobaan belum memungkinkan evaluasi keterulangan secara statistik.

4.3 Kinerja Antarmuka *Web Server*

Antarmuka *web server* yang berjalan langsung pada ESP32 (Gambar 7) menampilkan level dan ketinggian air, jarak sensor, suhu dan grafiknya, status pompa, serta menu pengaturan tinggi wadah dan ambang ON/OFF, dengan ekspor data ke CSV. Latensi pembaruan tidak diukur langsung, tetapi batas atas teoritisnya ≤1,8 s (pembacaan 0,8 s + *polling* halaman 1 s). Ekspor log CSV berhasil pada 3 dari 3 percobaan. Nilai web dan log serial membaca variabel yang sama sehingga selisihnya 0,0 cm secara desain. Saat Wi-Fi terputus, logika kendali di loop() ESP32 tetap berjalan dan halaman menampilkan nilai terakhir.



Gambar 7. Antarmuka web server selama proses pemantauan dan pengisian air

4.4 Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan penelitian ini meliputi: (1) pengujian pada wadah prototipe 35 cm di dalam ruangan dengan air bersih, belum pada tandon nyata, luar ruangan, kondensasi, atau suhu ekstrem; (2) kalibrasi dan pengujian kendali pada wadah berbeda, dengan satu pembacaan per titik kalibrasi; (3) ketahanan RS485

terhadap derau dan kabel panjang belum diuji; (4) belum ada penyaringan data, dan log pengisian berinterval 5 s tanpa status pompa serta dengan tinggi terbatas 33 cm; (5) *web server* hanya lokal tanpa autentikasi; serta (6) pengujian jangka panjang dan konsumsi energi belum dilakukan.

5. KESIMPULAN

Sistem pemantauan level air dan pengendalian pompa otomatis berbasis sensor ultrasonik A02YY4W dan ESP32 dengan kendali histeresis dan *web server* lokal telah dikembangkan. Kalibrasi pada 10 titik ketinggian 10–100 cm menghasilkan MAE 0,60 cm, RMSE 0,62 cm, bias +0,08 cm, dan R^2 = 0,9995, dengan seluruh selisih di bawah ±1 cm; persentase *error* terbesar 8,00% pada 10 cm disebabkan oleh nilai acuan yang kecil. Dari level awal 0%, 25%, dan 50% (satu percobaan per level), pompa berhasil dihentikan pada 100% percobaan dengan *overshoot* rata-rata ≈1,8 cm dan waktu respons relay ≤10 ms (spesifikasi pabrikan). Antarmuka web memperbarui data dengan periode 1 s (batas atas latensi teoritis ≤1,8 s), sedangkan LM35 hanya berfungsi sebagai informasi tambahan dan belum divalidasi terhadap termometer referensi. Kestabilan pembacaan menurun pada level rendah (simpangan baku 0,37 cm pada level awal 50% dan 4,77 cm pada 0%). Penelitian selanjutnya disarankan menerapkan filter median, menguji RS485 pada kabel panjang, dan menguji jangka panjang pada tandon nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Indramayu atas dukungan pendanaan dalam pelaksanaan penelitian ini melalui Kontrak Nomor 010/DST/PL42/AL.04.03/SIPASTI/2026.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Prima, E.C., Munifah, S.S., Salam, R., Aziz, M.H., and Suryani, A.T. (2017). Automatic water tank filling system controlled using Arduino™ based sensor for home application. *Procedia Engineering*, 170, 373–377. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.060.

[2] Alawiah, A., and Al Tahtawi, A.R. (2017). Sistem kendali dan pemantauan ketinggian air pada tangki berbasis sensor ultrasonik. *KOPERTIP: Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer*, 1(1), 25–30. doi: 10.32485/kopertip.v1i1.7.

[3] Az-Zikri, A.N., Indriyanto, S., and Wicaksono, A. (2025). Perancangan prototipe sistem monitoring level air tandon berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor ultrasonik JSN-SR04T. *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, 2(1), 13–22. doi: 10.61124/sinta.v2i1.38.

[4] Iman, N.P., Rianggi, M.R., Wicaksana, P., Ismajuanti, and Atika, R. (2026). Pengembangan prototipe smart water tank berbasis Internet of Things dengan sistem dual tank dan filtrasi otomatis untuk monitoring adaptif ketinggian dan kualitas air. *Jurnal TELISKA*, 19(2), 1–9. doi: 10.36257/teliska.v19i2.11997.

[5] Afiludin, A.Y. (2026). Implementasi sistem sensor aliran air otomatis di rumah dengan notifikasi Telegram berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 3(1), 22–30. doi: 10.63447/jikti.v3i1.1827.

[6] Gunawan, I., Akbar, T., and Ilham, M.G. (2020). Prototipe penerapan Internet of Things (IoT) pada monitoring level air tandon menggunakan NodeMCU ESP8266 dan Blynk. *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, 3(1), 1–7. doi: 10.29408/jit.v3i1.1789.

[7] Rienandie, N.F., and Pramudita, R. (2025). Design of an Internet of Things-based water level monitoring system. *JURTEKSI: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 11(2), 265–272. doi: 10.33330/jurteksi.v11i2.3713.

[8] Kugelstadt, T. (2021). *The RS-485 design guide* (Application Report SLLA272D). Dallas, TX: Texas Instruments. Retrieved October 20, 2026, from https://www.ti.com/lit/pdf/slla272
[9] Rahman, M.H., Shihab, M., Rahman, M.A., and Naderuzzaman, M. (2026). ESP32 microcontroller: A review of architecture, communication protocols, applications and research challenges. *Open Access Journal on Engineering Applications*, 1(2), 19–33. doi: 10.64886/oajea.0102.003.
[10] DYP. (2024). A02YYUW Ultrasonic Ranging Sensor Ranging Module. Retrieved September 12, 2016, from https://www.dypcn.com/a02yyuw-ultrasonic-ranging-sensor-ranging-module-product/
[11] Nuzula, N.I., Sakinah, W., and Endarko. (2017). Manufacturing temperature and turbidity sensor based on ATMega 8535 microcontroller. *AIP Conference Proceedings*, 1788, 030108. doi: 10.1063/1.4968361.
[12] Texas Instruments. (2017). *LM35 precision centigrade temperature sensors* (Datasheet SNIS159H). Retrieved October 20, 2026, from https://www.ti.com/lit/pdf/SNIS159
[13] Ningbo Songle Relay Co., Ltd. (n.d.). *SRD-05VDC-SL-C power relay datasheet*. Retrieved October 20, 2026, from https://lcsc.com/product-detail/C35449.html
[14] XLSEMI. (2026). *XL4015: 180KHz 36V 5A switching current buck DC to DC converter* (Datasheet Resmi XL4015). Retrieved October 20, 2026, from https://www.lcsc.com/product-detail/C51661.
[15] Sundana, T., Johari, F.A., and Al Ariiq, F. (2022). Prototipe sistem monitoring kebocoran pipa distribusi air berbasis SCADA. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(1), 74–86. doi: 10.59141/jist.v3i01.328.
[16] Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
[17] Ding, N., Zhu, Q., Cherqui, F., Walcker, N., Bertrand-Krajewski, J.-L., and Hamel, P. (2025). Laboratory performance assessment of low-cost water level sensor for field monitoring in the tropics. *Water Research X*, 27, 100298. doi: 10.1016/j.wroa.2024.100298.
[18] Pereira, T.S.R., de Carvalho, T.P., Mendes, T.A., and Formiga, K.T.M. (2022). Evaluation of water level in flowing channels using ultrasonic sensors. *Sustainability*, 14(9), 5512. doi: 10.3390/su14095512.
[19] Bae, I., and Ji, U. (2019). Outlier detection and smoothing process for water level data measured by ultrasonic sensor in stream flows. *Water*, 11(5), 951. doi: 10.3390/w11050951.