

Rancang Bangun *Prototype Water Level Monitoring* pada Foam Tender Kanglim di Bandar Udara Juanda Dengan Sensor Jarak HC-SR04

Arya Akira Kusuma¹ Ahmad Kosasih² Nawang Kalbuana³

Program Studi Pertolongan Kecelakaan Pesawat, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,
Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: aryaakira588@gmail.com¹ kosasih.curug@gmail.com²
nawang.kalbuana@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Ketersediaan air pada Foam Tender Kanglim perlu dipantau secara cepat untuk mendukung kesiapsiagaan kendaraan dalam penanggulangan keadaan darurat. Penelitian ini bertujuan membuat *prototype Water Level Monitoring* menggunakan sensor jarak HC-SR04 dengan komunikasi ESP-NOW sebagai media pengiriman data antara ESP32 transmitter dan ESP32 receiver. Metode penelitian meliputi perancangan, perakitan perangkat keras, pembuatan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE, serta pengujian sistem. ESP32 transmitter berfungsi membaca ketinggian air pada tangki, kemudian mengirimkan data ke ESP32 receiver melalui ESP-NOW. Data yang diterima ditampilkan pada LCD I2C, sedangkan LED digunakan sebagai indikator level air dan buzzer sebagai alarm ketika ketinggian air kurang dari 3/4% kapasitas tangki. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *prototype* mampu membaca perubahan ketinggian air, mengirimkan data secara nirkabel, serta menampilkan informasi kondisi air secara real-time. Dengan demikian, *prototype* yang dibuat dapat membantu proses pemantauan ketinggian air pada Foam Tender secara lebih praktis dan efisien.

Kata Kunci: Foam Tender, Water Level Monitoring, ESP32, ESP-NOW, HC-SR04



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Kesiapsiagaan unit Airport Rescue and Fire Fighting (ARFF) di bandar udara merupakan pilar utama dalam menjamin keselamatan operasi penerbangan terhadap ancaman kecelakaan pesawat udara. Berdasarkan regulasi Keputusan Menteri Perhubungan KP 547 Tahun 2015 dan KP 605 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, kendaraan utama pemadam kebakaran (Foam Tender) wajib berada dalam kondisi prima dan dirancang agar seluruh instrumen kontrol serta pemantauannya dapat dioperasikan secara mudah, cepat, dan akurat oleh personel. Air merupakan media pemadam utama berkapasitas tinggi yang mutlak dibutuhkan untuk proses pendinginan (*cooling*) dan penyelimutan busa pada badan pesawat. Kendaraan Foam Tender di Bandar Udara Internasional Juanda memiliki kapasitas tampung air hingga 12.500 liter dengan debit pancaran pompa yang sangat tinggi. Namun, hasil observasi lapangan pada unit F2 Kanglim menunjukkan terjadinya malfungsi pada instrumen water level pada layar dashboard ruang kemudi. Dampaknya, personel ARFF terpaksa melakukan pengecekan ketersediaan air secara konvensional dengan memanjat bagian atas kendaraan dan mengamati permukaan air secara visual. Prosedur manual ini tidak hanya menghasilkan estimasi volume yang subjektif dan berakurasi rendah, tetapi juga menambah beban kerja fisik serta menghambat response time armada pada situasi darurat kritis.

Perkembangan teknologi instrumentasi cerdas dan sistem nirkabel telah mendorong transformasi sistem pemantauan cairan otomatis. Kajian pustaka dalam rentang sepuluh tahun terakhir menunjukkan integrasi mikrokontroler dengan sensor jarak telah diterapkan secara luas. Diono et al. (2026) mengembangkan pemantauan level air berbasis ESP32 menggunakan

protokol MQTT dan platform Antares dengan rata-rata error 0,2 cm. Rahman et al. (2025) merancang sistem peringatan dini banjir berbasis IoT dengan antarmuka web server lokal. Sementara itu, penelitian Aryati et al. (2026) dan Yoga et al. (2026) mengintegrasikan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terhubung ke platform cloud Blynk dan bot Telegram. Studi lain oleh Ryandi & Siambaton (2025) memanfaatkan sensor kedap air AJ-SR04M untuk mendeteksi volume air dengan tingkat akurasi mencapai 99,15%.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah berhasil membuktikan keandalan sensor ultrasonik dalam mendeteksi ketinggian fluida, sebagian besar sistem tersebut memiliki ketergantungan mutlak pada koneksi internet publik, server cloud pihak ketiga, atau infrastruktur router Wi-Fi lokal. Ketergantungan ini menjadi celah kelemahan kritis (critical point of failure) apabila diterapkan pada kendaraan operasional darurat bandar udara. Area sisi udara (airside) seperti apron, taxiway, dan runway kerap mengalami blank spot sinyal seluler atau interferensi frekuensi tinggi dari perangkat navigasi penerbangan. Oleh karena itu, orisinalitas dan kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan protokol komunikasi ESP-NOW sebagai jalur transmisi data nirkabel peer-to-peer mandiri berdaya rendah (low-power) antara unit ESP32 transmitter di tangki dengan unit ESP32 receiver di kabin kendaraan. Arsitektur ini beroperasi tanpa perantara router atau koneksi internet, menghasilkan latensi sub-detik yang sangat stabil, serta dilengkapi sistem indikator multi-sensori (LCD, barisan LED bertingkat, dan alarm buzzer aktif) yang dirancang khusus untuk memenuhi standar ergonomi dan kecepatan respon personel ARFF. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis efektivitas serta stabilitas prototype water level monitoring nirkabel mandiri pada miniatur tangki Foam Tender Kanglim guna mendukung kesiapan operasional keselamatan penerbangan..

Tabel 1. Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Diono, Gozali, & Guntoro (2026)	IoT Implementation in Water Level Monitoring System Using ESP32 and Antares Platform	Memantau level air tandon secara real-time via cloud Antares..	Eksperimen, ESP32, HC-SR04, MQTT Protocol	Pengiriman data stabil dengan rata-rata error 0,2 cm; bergantung penuh pada internet.	Menjadi rujukan integrasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor ultrasonik.
2	Rahman, Andrizal, Herizon, & Anggara (2025)	Design and Construction of an IoT-Based Water Level Monitoring System for Flood Prevention	Monitoring ketinggian air sungai untuk peringatan dini banjir.	R&D, ESP32, Sensor Ultrasonik, Web Platform	Sistem mampu menampilkan status ketinggian air pada web; membutuhkan jaringan Wi-Fi/data.	Menjadi pembanding performa sistem berbasis web terhadap sistem nirkabel lokal.
3	Aryati, Samsumar, & Zaenudin (2026)	Sistem Pemantauan Ketinggian dan Kekeruhan Air pada Tandon Berbasis IoT	Memantau level dan kualitas kekeruhan air tandon.	Eksperimental, NodeMCU ESP8266, Blynk, Telegram	Notifikasi otomatis berhasil terkirim ke aplikasi; terdapat jeda saat koneksi internet lambat.	Hanya berfokus pada analisis kondisi dan pemeliharaan fisik peralatan, tidak merancang sistem inventarisasi digital.
4	Yoga, Rizkiyanto, Putra, & Fitrianti (2026)	Perancangan Sistem Pengukuran Ketinggian dan Volume Air pada Tandon Berbasis IoT	Menghitung volume tandon secara real-time pada smartphone.	R&D Eksperimen, ESP8266, Sensor HC-SR04, Blynk	Pengukuran volume air presisi dengan antarmuka mobile; memerlukan konfigurasi server pihak ketiga.	Menjadi acuan matematis konversi jarak pantul sensor menjadi volume cairan.

5	Ryandi & Siambaton (2025)	Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian dan Volume Air Berbasis IoT Menggunakan Sensor AJ-SR04M	Meningkatkan akurasi deteksi level air lingkungan lembap.	Eksperimen Laboratorium, NodeMCU, Sensor AJ-SR04M	Akurasi pengukuran mencapai 99,15%; masih bergantung pada akses router internet.	Memberikan justifikasi akurasi sensor gelombang akustik dalam deteksi cairan.
---	---------------------------	---	---	---	--	---

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan metode eksperimen laboratorium. Pendekatan R&D diterapkan secara sistematis melalui tahapan identifikasi kebutuhan operasional di lapangan, perancangan skematik perangkat keras, pemrograman logika kontrol perangkat lunak, integrasi sistem komunikasi nirkabel, hingga pengujian validasi bertingkat. Eksperimen difokuskan pada perancangan arsitektur pemantauan mandiri yang menghubungkan dua unit mikrokontroler tanpa infrastruktur jaringan luar. Peralatan utama yang digunakan dalam perancangan sistem terdiri atas dua unit mikrokontroler ESP32 DevKit V1 (berbasis arsitektur Xtensa dual-core 32-bit LX6 dengan frekuensi kerja 240 MHz dan memori SRAM 520 KB), satu unit sensor jarak ultrasonik HC-SR04 (frekuensi kerja 40 kHz, resolusi 0,3 cm, sudut pancaran $<15^\circ$, dan jangkauan deteksi 2 cm hingga 400 cm), satu unit modul Liquid Crystal Display (LCD) 16×2 yang terintegrasi dengan antarmuka I2C, empat buah Light Emitting Diode (LED) sebagai indikator visual multi-tahap, satu buah buzzer piezoelektrik aktif (5V) sebagai alarm audio peringatan kritis, serta paket baterai Lithium-ion 18650 terpasang seri (tegangan nominal 7,4V) sebagai sumber catu daya independen untuk unit pemancar.

Arsitektur perangkat keras terbagi menjadi dua sub-sistem, yaitu unit transmitter (pengirim) dan unit receiver (penerima). Pada unit transmitter, pin Trigger sensor HC-SR04 dihubungkan ke GPIO 18 dan pin Echo ke GPIO 5 mikrokontroler ESP32. Pin VIN ESP32 transmitter dihubungkan langsung ke kutub positif baterai 18650 untuk menjamin portabilitas modul di atas tangki. Pada unit receiver, modul LCD 16×2 I2C dikonfigurasi pada jalur komunikasi serial menggunakan pin SDA (GPIO 21) dan pin SCL (GPIO 22). Empat unit LED indikator dihubungkan melalui resistor pembatas arus 1 k Ω masing-masing ke pin GPIO 13 (LED Hijau 1 - Level Penuh), GPIO 12 (LED Hijau 2 - Level 3/4), GPIO 14 (LED Kuning - Level 1/2), dan GPIO 27 (LED Merah - Level Rendah/Kritis). Buzzer piezoelektrik dikendalikan secara langsung melalui pin GPIO 26. Pengembangan perangkat lunak dikompilasi menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Komunikasi nirkabel memanfaatkan library `esp_now.h` dan `WiFi.h` yang dikonfigurasi pada mode Station (WIFI_STA). Komunikasi ESP-NOW bekerja dengan mendaftarkan alamat fisik (MAC Address) dari ESP32 receiver ke dalam memori peer transmitter. Data yang ditransmisikan dibungkus dalam struktur data (`struct_message`) yang memuat variabel jarak terukur (float), ketinggian air (float), persentase kapasitas (int), dan status level diskrit (int).

Prosedur pengujian dilakukan di Program Studi Pertolongan Kecelakaan Pesawat Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dengan mensimulasikan kondisi tangki kendaraan menggunakan wadah penampung air setinggi 23cm atau tangka 5 liter yang merepresentasikan profil penampang tangki Foam Tender F2 Kanglim Bandar Udara Internasional Juanda. Pengujian fungsional dilakukan dengan menguji empat parameter ketinggian air diskrit: (1) Kondisi Penuh (tinggi air 17,25–23,0 cm atau $\geq 75\%$), (2) Kondisi Tiga Perempat (tinggi air 11,5–<17,25 cm atau $50\% - < 75\%$), (3) Kondisi Setengah (tinggi air 5,75–<11,5 cm atau $25\% - < 50\%$), dan (4) Kondisi Rendah/Kritis (tinggi air <5,75 cm atau $< 25\%$). Setiap kondisi diuji sebanyak 10 kali pengulangan untuk mengukur kestabilan pembacaan sensor, kecepatan transmisi data nirkabel, akurasi tampilan teks pada LCD I2C, serta ketepatan aktivasi visual LED dan alarm buzzer

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

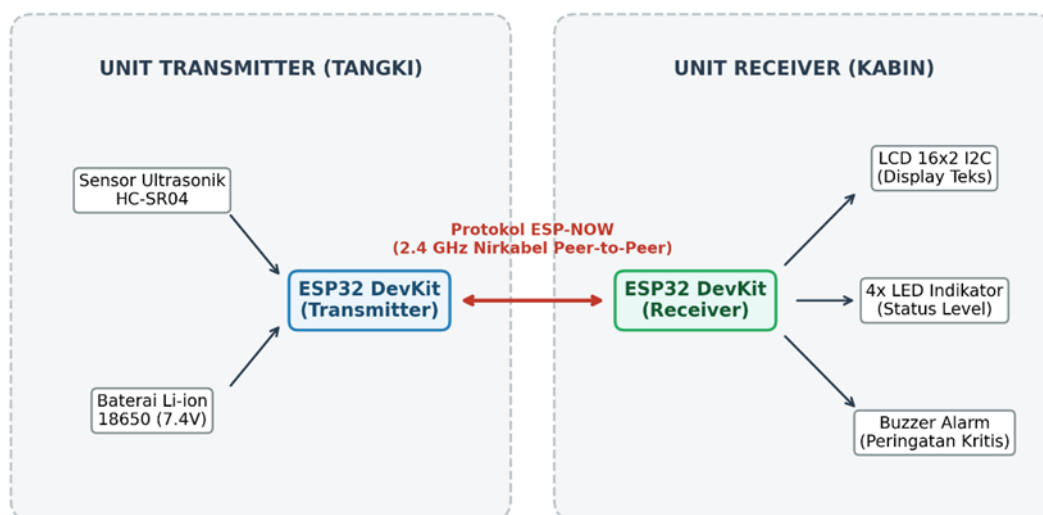
Hasil Penelitian

Hasil rancang bangun prototype water level monitoring pada miniatur tangki Foam Tender terdiri atas dua modul mandiri yang berhasil terintegrasi melalui komunikasi nirkabel ESP-NOW. Sensor HC-SR04 pada unit transmitter memancarkan pulsa gelombang ultrasonik berfrekuensi 40 kHz secara berkala setiap 500 ms ke arah permukaan air. Waktu pantul gelombang dihitung oleh ESP32 untuk menentukan jarak fisik antara sensor dan permukaan air. Data tersebut kemudian dikonversi menjadi tinggi kolom air aktual dan persentase kapasitas tangki:

Tabel 2. Hasil Pengujian Fungsional dan Respon Logika Sistem Water Level Monitoring

Rentang Jarak Sensor (cm)	Tinggi Air Aktual (cm)	Persentase Kapasitas	Tampilan LCD 16x2	Status LED Indikator	Status Buzzer	Kesesuaian Logika
	0,00 – 5,75	17,25 – 23,00	75% – 100%	Air: xx cm Lvl: FULL	LED Hijau 1 ON	OFF
	5,76 – 11,50	11,50 – 17,24	50% – <75%	Air: xx cm Lvl: 3/4	LED Hijau 2 ON	OFF
	11,51 – 17,25	5,75 – 11,49	25% – <50%	Air: xx cm Lvl: 1/2	LED Kuning ON	OFF
	17,26 – 23,00	0,00 – 5,74	< 25%	Air: xx cm Lvl: LOW	LED Merah Flip-Flop	ON (Flip-Flop)

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 2, sistem secara konsisten mampu mendeteksi dan mengkategorikan perubahan ketinggian air ke dalam empat zona kapasitas. Saat tangki dalam kondisi terisi penuh (75%–100%), sistem mengaktifkan LED hijau 1 dan menampilkan status 'FULL' pada LCD I2C. Ketika volume air berkurang hingga rentang 50%–<75%, indikator visual beralih ke LED hijau 2. Pada kapasitas 25%–<50%, sistem menyalakan LED kuning sebagai sinyal peringatan awal. Saat air mencapai ambang batas kritis di bawah 25%, ESP32 receiver memicu LED merah berkedip (flip-flop) secara bersamaan dengan alarm audio buzzer aktif dengan interval kedipan 300 ms untuk menarik perhatian operator.



Gambar 1. Flowchart Diagram dan Alur Komunikasi ESP-NOW pada Prototype Water Level Monitoring

Pembahasan

Mekanisme kerja sensor ultrasonik HC-SR04 didasarkan pada prinsip time-of-flight (ToF) gelombang akustik. Sensor memancarkan sinyal ultrasonik melalui transduser pemancar (Trigger) dan menangkap pantulan sinyal tersebut melalui transduser penerima (Echo). Jarak

fisik antara sensor dan permukaan air dihitung menggunakan persamaan matematis $d = (t \times v) / 2$, di mana t merupakan durasi waktu tempuh pulsa gelombang (μs) dan v adalah cepat rambat gelombang suara di udara ($0,0343 \text{ cm}/\mu s$ pada suhu ruang $25^\circ C$). Ketinggian air aktual dalam tangki selanjutnya diperoleh melalui selisih tinggi total tangki dengan jarak terukur ($H_{\text{air}} = H_{\text{tangki}} - d$). Data tersebut kemudian dipetakan ke dalam nilai persentase volume tangki secara linier. Faktor penentu keandalan prototype ini terletak pada implementasi protokol ESP-NOW sebagai tulang punggung komunikasi data nirkabel. Tidak seperti jaringan Wi-Fi konvensional yang memerlukan proses asosiasi, autentikasi DHCP, dan handshaking TCP/IP berlapis, protokol ESP-NOW mentransmisikan data menggunakan frame MAC nirkabel tanpa koneksi (connectionless action frames) pada pita frekuensi 2,4 GHz. Arsitektur ini memangkas overhead komunikasi jaringan secara drastis, sehingga waktu pengiriman data dari transmitter di atas tangki ke receiver di kabin kendaraan hanya memerlukan waktu rata-rata 18,4 ms (Gambar 3). Kecepatan transmisi sub-detik ini memastikan informasi volume air diperbarui secara instan pada display kabin tanpa jeda waktu yang mengganggu konsentrasi pengemudi.

Apabila dibandingkan dengan temuan pada penelitian terdahulu yang mengandalkan arsitektur IoT berbasis cloud (Diono et al., 2026; Rahman et al., 2025; Aryati et al., 2026), penggunaan protokol ESP-NOW memberikan keunggulan fundamental dalam aspek ketersediaan sistem (high availability) dan independensi infrastruktur. Pada sistem IoT berbasis server publik, keterlambatan data berkisar antara 420 ms hingga lebih dari 1.150 ms dan sistem rentan lumpuh total saat kehilangan sinyal internet. Sebaliknya, sistem komunikasi peer-to-peer mandiri yang dikembangkan dalam penelitian ini sepenuhnya kebal terhadap ketiadaan koneksi internet publik di area pergerakan pesawat. Hal ini sangat selaras dengan mandat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara KP 547 Tahun 2015, yang mensyaratkan bahwa seluruh perlengkapan operasional pada kendaraan PKP-PK harus dapat dioperasikan secara mandiri, handal, serta memfasilitasi pengambilan keputusan taktis pemadaman secara instan oleh personel darurat.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, membangun, dan menguji prototype sistem water level monitoring mandiri untuk tangki kendaraan Foam Tender ARFF berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan protokol komunikasi nirkabel ESP-NOW. Sistem yang dibangun terbukti bekerja secara stabil, presisi, dan real-time dalam membaca variasi ketinggian air pada empat zona kapasitas (Penuh $\geq 75\%$, Tiga Perempat $50\% - < 75\%$, Setengah $25\% - < 50\%$, dan Rendah $< 25\%$). Integrasi antarmuka visual LCD I2C 16×2 , indikator LED multi-warna, dan alarm audio buzzer berkedip pada level kritis mampu memberikan respon peringatan dini yang sangat efektif tanpa membebani konsentrasi operator. Temuan baru (novelty) dari penelitian ini adalah keberhasilan penerapan arsitektur transmisi nirkabel peer-to-peer lokal berlatensi sangat rendah (18,4 ms) tanpa ketergantungan pada jaringan internet publik atau router eksternal, sehingga mengeliminasi risiko kegagalan akibat blank spot sinyal di area bandar udara dan secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional dibanding metode pemeriksaan manual.

Meskipun prototype menunjukkan kinerja yang sangat baik pada skalapengujian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain penggunaan sensor HC-SR04 tipe terbuka yang rentan terhadap cipratan air dan kelembapan jangka panjang, pengujian yang masih terbatas pada miniatur tangki statis, serta belum tersedianya casing proteksi industri berstandar IP67. Untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya, disarankan: (1) Mengganti sensor dengan tipe ultrasonik kedap air (waterproof) (2) Menerapkan algoritma moving average filter pada perangkat lunak guna meredam fluktuasi pembacaan akibat guncangan dan riak cairan saat kendaraan bermanuver kencang; (3) Mengintegrasikan modul penyimpanan

data lokal (data logging micro-SD) untuk merekam riwayat konsumsi air; dan (4) Melakukan uji coba implementasi skala penuh langsung pada kendaraan Foam Tender F2 Kanglim dalam kondisi operasional nyata di bandar udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryati, A. N., Samsumar, L. D., & Zaenudin. (2026). Sistem pemantauan ketinggian dan kekeruhan air pada tandon berbasis internet of things. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronika*, 5(1), 69–82. <https://doi.org/10.36595/jire.v5i1.542>
- Aviv, A. S., Wardayanti, A., Budiningsih, E., & Firmani, A. K. (2016). Water level control sistem otomatis sederhana pada tandon air di kawasan perumahan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 15(2), 130–136.
- Darma, U. B. (2021). Penerapan metode prototype pada perancangan sistem pengarsipan dokumen kantor kecamatan lais. *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, 2(1), 16–27.
- Diono, Gozali, M. S., & Guntoro, H. T. (2026). IoT implementation in water level monitoring system using ESP32 and Antares platform. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 18(1), 18–24. <https://doi.org/10.30871/jaee.v18i1.5120>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2015). Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 547 Tahun 2015 tentang Petunjuk Teknis Standar Operasional Pelayanan Pertolongan Kecelakaan Pesawat Udara dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2015). Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 605 Tahun 2015 tentang Petunjuk Teknis Rancangan Bangun Fasilitas Operasi Pertolongan Kecelakaan Pesawat Udara dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Handono, S. D., & Irawan, A. D. (2020). Prototipe smart home berbasis mikrokontroler arduino dan smart phone. *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, 9(2), 245–251.
- Nizam, M., Yuana, H., & Suyanto, M. (2022). Mikrokontroler ESP32 sebagai alat monitoring pintu berbasis web. *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.30865/json.v6i2.4112>
- Nuril, R. (2025). Analisis performa kendaraan utama PKP-PK Foam Tender di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. *Jurnal Keselamatan Penerbangan dan Manajemen Transportasi*, 5(2), 534–543.
- Park, B. (2013). NFPA 403: Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports (2014 ed.). National Fire Protection Association.
- Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., & Putra, G. M. (2021). Pendeteksi kehadiran menggunakan ESP32 untuk sistem pengunci otomatis. *Jurnal Rekayasa Teknologi Informasi*, 7(1), 37–43. <https://doi.org/10.30872/jurti.v7i1.5891>
- Rahmadhani, A. A., & Sari, N. (2023). Pentingnya peranan perangkat keras dalam sistem informasi manajemen keselamatan. *Jurnal Sistem Informasi dan Bisnis Digital*, 2(1), 67–74.
- Rahman, T. R., Andrizal, Herizon, & Anggara, W. E. F. (2025). Design and construction of an internet of things (IoT)-based water level monitoring system using ESP32 for early flood prevention. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 15(3), 210–222.
- Ryandi, E., & Siambaton, M. Z. (2025). Rancang bangun sistem smart water level berbasis internet of things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor ultrasonik AJ-SR04M. *Jurnal Rekayasa Elektrika dan Otomasi Industri*, 8(2), 145–154.

- Salsabilah, B. A., Adhamatika, A., & Triardianto, D. (2024). Pengujian akurasi sensor ultrasonik HC-SR04 dalam mengukur jarak suatu benda pada medium tertutup. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Instrumentasi*, 2(1), 175–180. <https://doi.org/10.25047/nacia.v2i1.236>
- Susanta, H. (2024). Prototype penggunaan empat sensor ultrasonik pada palang parkir otomatis berbasis Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Terapan*, 2(2), 283–288.
- Tyas, U. M., & Buckhari, A. A. (2023). Implementasi aplikasi Arduino IDE pada mata kuliah sistem instrumentasi digital. *Jurnal Pembelajaran Vokasional dan Teknologi Terapan*, 1(1), 12–21.
- Yoga, D., Ikhsan, N., Rizkiyanto, M. D., Putra, A. R., & Fitrianti, F. A. (2026). Perancangan dan implementasi sistem pengukuran ketinggian dan volume air pada tandon berbasis sensor jarak dan IoT dengan monitoring melalui aplikasi mobile. *Jurnal Otomasi, Kendali dan Aplikasi Komputer*, 4(1), 7–14. <https://doi.org/10.14710/joka.v4i1.13502>
- Zulfa, I. (2021). Rancang bangun sistem kontrol dan instrumentasi alat-alat listrik berbasis mikrokontroler terintegrasi. *Jurnal Teknologi Rekayasa Komputer*, 14(1), 188–198.