JURNAL TEKNIK INFORMATIKA DAN MULTIMEDIA Vol 5, No.2, Oktober 2025, pp.116 - 124
p-ISSN : 2808-909X (print)
e-ISSN : 2798-2505 (online)
http://journal.politeknik-pratama.ac.id/index.php/JTIM · page 116
DOI : https://doi.org/10.51903/informatika.v5i2.1306

PENGEMBANGAN INTEGRATED MONITORING SYSTEM BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA KENDARAAN STEYR 91 ROSENBAUER

Muhamad Akmal Hibban[1*], Togi Adnan Maruli Sinaga[2], Emilia Rahajeng Larasati[3]
[1] Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kecamatan Legok, Kabupaten Tangerang. Telp/fax: (021) 5982204, e-mail: m.hibban3006@gmail.com
[2] Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kecamatan Legok, Kabupaten Tangerang. Telp/fax: (021) 5982204, e-mail: togi.adnan@ppicurug.ac.id
[3] Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kecamatan Legok, Kabupaten Tangerang. Telp/fax: (021) 5982204, e-mail: emilia.rahajeng@ppicurug.ac.id
[*] coresspondence

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 Mei 2025
Received in revised form 24 June 2025
Accepted 8 Oktober 2025
Available online 15 Oktober 2025

ABSTRACT

Aviation safety is a top priority in the aviation industry, including airport rescue and fire fighting training activities in vocational education institutions such as the Indonesian Aviation Polytechnic Curug (PPIC). The Steyr 91 Rosenbauer training vehicle used in firefighting simulations still relies on analog indicators to monitor water levels in the tank, which are often inaccurate and disrupt training operations. To address this issue, this research developed an Internet of Things (IoT)-based Integrated Monitoring System capable of monitoring water levels in real time, both locally through OLED and LED/Buzzer indicators, and remotely via an IoT Cloud dashboard. The system utilizes the JSN-SR04M ultrasonic sensor and ESP32 microcontroller designed to operate independently, efficiently, and responsively under critical conditions. The research method applied is Research and Development (R&D) level 3 with validation and effectiveness testing. The test results show that the system functions accurately and provides effective early warnings. This innovation is expected to improve training efficiency and safety in ARFF (Airport Rescue and Fire Fighting) and serve as a technological model adaptable for other firefighting vehicles.

Keywords: Internet of Things, ARFF, Water Monitoring, ESP32, Steyr 91 Rosenbauer Vehicle.

Received August 10, 2025; Accepted Oktober 2, 2025; Available online Oktober 10, 2025

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

Keselamatan penerbangan menjadi prioritas utama dalam industri aviasi, termasuk pada kegiatan pelatihan pertolongan kecelakaan pesawat di lingkungan pendidikan vokasi seperti Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPIC). Kendaraan pelatihan Steyr 91 Rosenbauer yang digunakan dalam simulasi pemadaman masih mengandalkan indikator analog untuk memantau level air dalam tangki, yang seringkali tidak akurat dan menyebabkan gangguan dalam pelatihan. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini mengembangkan sebuah Integrated Monitoring System berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau ketinggian air secara realtime, baik secara lokal melalui OLED dan indikator LED/Buzzer, maupun secara daring melalui dashboard IoT Cloud. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik JSNSR04M dan mikrokontroler ESP32 yang dirancang untuk bekerja secara mandiri, efisien, dan responsif terhadap kondisi kritis. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) level 3 dengan pendekatan uji validasi dan uji efektivitas. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja akurat dalam memantau air dan memberikan peringatan dini yang efektif. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan pelatihan PKP-PK serta menjadi model teknologi yang dapat diadaptasi untuk kendaraan pemadam lainnya.
Kata Kunci: Internet of Things, PKP-PK, Monitoring Air, ESP32, Kendaraan Steyr 91 Rosenbauer.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan merupakan prioritas utama industri aviasi sesuai amanat *Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*, yang mengharuskan setiap bandar udara menyediakan fasilitas penanggulangan keadaan darurat, termasuk layanan **Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK)**. Unit PKP-PK berperan penting dalam memastikan kesiapsiagaan dan kecepatan respons terhadap kebakaran pesawat maupun insiden di area bandara.

Sebagai lembaga pendidikan vokasi penerbangan, **Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPIC)** memiliki tanggung jawab melatih SDM kompeten di bidang PKP-PK, salah satunya melalui penggunaan kendaraan pelatihan **Steyr 91 Rosenbauer**. Kendaraan ini dilengkapi tangki air dan busa sebagai media pemadam, namun pemantauan level air masih menggunakan indikator analog dengan akurasi rendah [1]. Hal ini kerap menyebabkan ketidaksesuaian data level air aktual, menimbulkan keterlambatan pengisian ulang, dan mengganggu skenario pelatihan [2], [3].

Keterbatasan indikator konvensional juga membuat pemantauan level air tidak dapat dilakukan secara *real-time*, sehingga instruktur kesulitan memastikan kesiapan kendaraan sebelum dan saat pelatihan berlangsung [4]. Perkembangan **Internet of Things (IoT)** menawarkan solusi melalui **Integrated Monitoring System (IMS)** yang memungkinkan pemantauan level air secara langsung via sensor, ditampilkan pada dashboard web/mobile, dan dilengkapi peringatan dini [5].

Penelitian terdahulu membuktikan bahwa kombinasi **sensor ultrasonik** dan **mikrokontroler ESP32** mampu memberikan pemantauan level air dengan akurasi tinggi serta integrasi cloud yang aman [6]. Implementasi sistem seperti ini juga dapat mengotomatisasi pengelolaan media pemadam untuk mencegah pemborosan dan meningkatkan efisiensi [7]. Oleh karena itu, pengembangan IMS berbasis IoT pada kendaraan Steyr 91 Rosenbauer di PPIC diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pelatihan PKP-PK sekaligus menjadi model penerapan teknologi monitoring kendaraan pemadam di lingkungan pendidikan dan operasional bandar udara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Internet of Things*

Whitmore dan kawan-kawan menyatakan bahwa IoT adalah suatu paradigma di mana objek sehari-hari dibekali kemampuan identifikasi, sensor, jaringan, dan pemrosesan, sehingga memungkinkan komunikasi dengan perangkat dan layanan lain melalui Internet guna mencapai suatu tujuan tertentu [6]. Dengan kata lain, IoT mencakup ekosistem artefak teknis sensor, aktuator, protokol interoperabilitas yang terhubung dalam jaringan global.

Menurut Keyur K. Patel & Sunil M. Patel (2016), IoT adalah jaringan objek fisik yang terhubung ke Internet berdasarkan protokol tertentu, dilengkapi dengan peralatan sensing, untuk bertukar informasi, mengontrol, dan memantau secara otomatis [8]. Definisi ini menekankan pada aspek jaringan perangkat fisik (network of physical objects), protokol komunikasi, serta kapabilitas monitoring & control secara otonom

2.2. *Water Level Sensor*

Menurut Putra et al. (2020): Water level sensor adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi, memonitor, dan mengendalikan ketinggian air dalam suatu wadah atau lingkungan, dengan memanfaatkan prinsip konduktivitas, tekanan, atau gelombang ultrasonik. Sensor ini sangat penting dalam sistem otomasi rumah, industri, hingga pengendalian banjir [9].

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

Menurut Kurniawan & Purnomo (2021): Water level sensor merupakan alat ukur berbasis elektronika yang berfungsi mendeteksi perubahan ketinggian permukaan air dan mengubahnya menjadi sinyal listrik untuk ditampilkan atau diolah lebih lanjut. Alat ini dapat menggunakan sensor ultrasonik, pelampung, hingga sensor tekanan sebagai media deteksi [10].

2.3. Sistem Real-Time Monitoring

Menurut jurnal "Real-Time Patient Monitoring System" yang ditulis oleh Sharma dkk. (2021), sistem pemantauan real-time dirancang untuk memonitor kondisi pasien secara terus-menerus menggunakan sensor yang terhubung ke mikrokontroler. Sensor-sensor ini mendeteksi parameter vital seperti detak jantung dan suhu tubuh, kemudian mengirimkan data tersebut ke internet melalui modul Wi-Fi. Informasi yang dikirim akan ditampilkan secara langsung pada halaman web, sehingga dokter maupun keluarga pasien dapat memantau kondisi pasien kapan saja dan dari lokasi manapun. Sistem ini memungkinkan pasien tetap dapat beraktivitas normal tanpa harus selalu berada di ruang perawatan, sekaligus memastikan penanganan cepat jika kondisi kritis terdeteksi (Eka Wardana & Noor Al Azam, 2024).

2.4. Kendaraan Steyr 91 Rosenbauer

Steyr 91 merupakan generasi penyempurnaan truk seri Steyr 90 yang diproduksi sejak 1978 dengan mesin diesel 6 silinder WD 615 dan WD 612 berkapasitas 6,6–9,7 L. Desainnya mengusung kabin *tilt-cab*, peningkatan peredaman suara dan panas, serta penggunaan material plastik pada grille dan bumper untuk efisiensi dan kemudahan perawatan [1].

Model ini menjadi basis kendaraan pemadam kebakaran Rosenbauer, seperti TLFA (*Tragkraftlöschfahrzeug mit Allrad*) dan SRF (*Spezial-Rüst-Fahrzeug*), yang memadukan sasis 4x4 tangguh dengan sistem tangki air, pompa, dan perlengkapan pemadam. Dengan tenaga hingga 190 kW (260 HP), kecepatan maksimum 85 km/jam, dan GVW hingga 14 ton, kendaraan ini dirancang untuk mampu beroperasi di medan berat dan kondisi darurat ekstrem, menjadikannya ideal sebagai unit PKP-PK di lingkungan bandar udara.

2.5. Perangkat Keras

Pengembangan *Integrated Monitoring System* berbasis IoT pada kendaraan Steyr 91 Rosenbauer memerlukan berbagai komponen utama. **Sensor ultrasonik JSN-SR04M** digunakan untuk mengukur ketinggian air dengan akurasi tinggi dan tahan air, cocok untuk aplikasi luar ruangan [11], [12]. **Mikrokontroler ESP32 DEV KIT V1** berfungsi sebagai pusat kendali dengan prosesor dual-core, memori besar, dan konektivitas Wi-Fi serta Bluetooth yang mendukung integrasi IoT [13]. **Baterai Li-Ion** menjadi sumber daya portabel yang efisien dan aman melalui metode pengisian *constant current–constant voltage* [14].

Untuk tampilan lokal, digunakan **layar OLED** yang hemat energi dan mampu menampilkan data secara jelas [15], serta **lampu LED** sebagai indikator visual hemat energi [16]. **Breadboard** dan **kabel jumper** dimanfaatkan untuk perakitan prototipe yang fleksibel[17]. **Resistor** dipakai untuk mengatur arus pada LED, sedangkan **LM2596** sebagai *step-down converter* menjaga kestabilan tegangan sistem [18]. **Buzzer module** digunakan sebagai peringatan dini jika level air berada di bawah batas yang ditentukan [19].

2.6. Perangkat Lunas

Pengembangan *Integrated Monitoring System* berbasis IoT ini memanfaatkan beberapa perangkat lunak utama. **Arduino IDE** digunakan sebagai lingkungan pengembangan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program (*sketch*) ke mikrokontroler dengan dukungan bahasa C/C++ serta pustaka bawaan yang mempermudah integrasi sensor dan modul IoT [20], [21]. **Arduino IoT Cloud** berfungsi sebagai platform berbasis web untuk memantau dan mengendalikan perangkat secara *real-time* melalui dashboard interaktif di web maupun aplikasi mobile, dengan dukungan protokol komunikasi seperti MQTT [22], [23].

Selain itu, sistem ini memanfaatkan **jaringan Wi-Fi** sebagai media transmisi data nirkabel berkecepatan tinggi, yang memungkinkan pengiriman informasi level air dari mikrokontroler ke *cloud* secara langsung sehingga dapat diakses dari jarak jauh [24], [25]. Kombinasi perangkat lunak ini memastikan proses pemantauan berjalan efisien, responsif, dan mudah diakses oleh pengguna.

2.6.1. Heading Level Ketiga

Heading pada level ketiga mengikut style dari heading level kedua. Hindari penggunaan heading lebih dari tiga level.

2.6.2. Penulisan Referensi

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

Cara penulisan referensi dapat dilihat pada bagian Daftar Pustaka. Tipe referensi yang diizinkan terdiri dari buku, jurnal, prosiding, dan laporan penelitian dalam rentang waktu 5 (lima) tahun terakhir kecuali buku rentang waktu 10 (Sepuluh) tahun terakhir

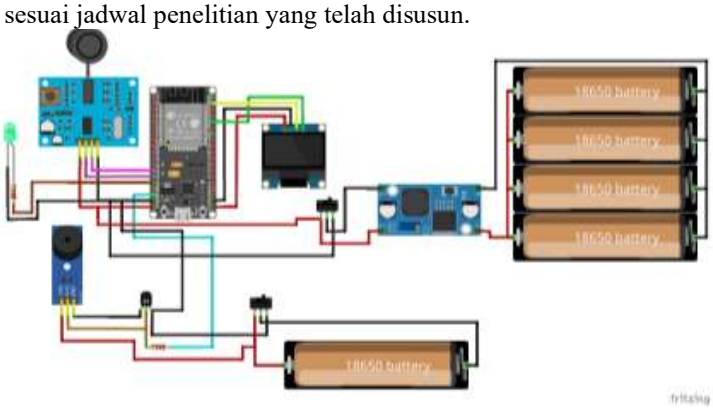
Penulisan rujukan dilakukan dengan menuliskan nomor referensi dalam kurung [1,2]. Penulisan referensi diawal kalimat juga sama. Jurnal ini sangat menyarankan untuk memakai aplikasi bantu referensi seperti Mendeley atau EndNote. Mendeley lebih disukai karena tidak memerlukan biaya tambahan untuk lisensi aplikasi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) Level 3 yang berfokus pada pengembangan dan penyempurnaan *Integrated Monitoring System* (IMS) berbasis Internet of Things (IoT) pada kendaraan pelatihan Steyr 91 Rosenbauer di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Pemilihan R&D Level 3 didasarkan pada tujuan penelitian yang tidak hanya menghasilkan produk baru, tetapi juga menguji efektivitasnya pada kondisi nyata di lapangan.
Tahapan penelitian meliputi:

1. **Penelitian pendahuluan**, yaitu analisis kebutuhan melalui studi literatur dan wawancara dengan instruktur PKP-PK untuk mengidentifikasi permasalahan aktual pada sistem indikator air.
2. **Pengembangan produk**, yaitu perancangan IMS yang mengintegrasikan sensor ultrasonik JSN-SR04M, mikrokontroler ESP32, indikator visual (OLED, LED), buzzer, dan koneksi Wi-Fi ke *Arduino IoT Cloud*.
3. **Uji validasi produk**, dilakukan dengan *expert judgment* dari ahli IoT dan pelatihan PKP-PK untuk menilai kelayakan teknis dan kesesuaian sistem.
4. **Uji efektivitas produk**, melibatkan pengujian terbatas dan luas menggunakan metode kuantitatif berbasis skala Likert untuk menilai akurasi, respon sistem, dan kemudahan penggunaan.
5. **Diseminasi**, yaitu penyebaran hasil melalui presentasi dan publikasi ilmiah.

Perancangan alat mencakup **desain perangkat keras** yang terdiri dari ESP32 sebagai pusat kendali, sensor JSN-SR04M sebagai pengukur ketinggian air, OLED untuk tampilan lokal, LED dan buzzer sebagai indikator peringatan, LM2596 sebagai *step-down converter*, serta baterai Li-Ion sebagai catu daya. Perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk pemrograman, Arduino IoT Cloud untuk integrasi dan pemantauan daring, serta koneksi Wi-Fi sebagai media transmisi data.
Pengujian alat dilakukan secara *in-situ* pada kendaraan pelatihan untuk mengevaluasi akurasi pengukuran, kecepatan respon, kestabilan koneksi, serta keandalan notifikasi peringatan. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif, sedangkan validasi dilakukan menggunakan kategori kelayakan yang telah ditentukan. Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dengan periode pelaksanaan sesuai jadwal penelitian yang telah disusun.



Gambar 1. Rangkaian Wiring

3.1. Teknik Pengujian Alat

Tabel 1. Tabel pengujian alat

No	Kondisi Air	Deskripsi Pengujian	Indikasi Keberhasilan	Respon Perangkat
1	Di atas ambang batas (>10%)	Menguji perangkat saat ketinggian air melebihi 10%. Persentase ketinggian air harus tampil	OLED display menampilkan persentase ketinggian air sesuai nilai aktual;	

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

		akurat pada OLED display.	tidak ada peringatan yang muncul.	
2	Di bawah ambang batas (<25%)	Menguji perangkat saat air berada di bawah ambang batas 25%. Mengamati apakah perangkat memberikan peringatan LED.	OLED display menunjukkan nilai <25%; data terkirim ke cloud dan LED meyala.	
3	Di bawah ambang batas (10%)	Menguji perangkat saat air berada di bawah ambang batas 10%. Mengamati apakah perangkat memberikan peringatan Buzzer.	OLED display menunjukkan nilai <10%; data terkirim ke cloud, LED menyala dan Buzzer berbunyi.	

Hasil dari ketiga sesi ini akan digunakan untuk menganalisis keandalan dan akurasi perangkat saat diterapkan di lingkungan operasional nyata pada foam tender, serta memastikan bahwa alat ini dapat menjadi sistem monitoring ketinggian air yang efektif dan responsif di lapangan.

3.2. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif sesuai dengan tujuan pengembangan sistem. Analisis dilakukan melalui pengolahan hasil uji validasi menggunakan skala Likert (1–5) yang dikonversikan menjadi skor persentase kelayakan. Skor yang diperoleh dari hasil validasi akan dikonversikan ke dalam persentase kelayakan menggunakan rumus:

$$P = \left(\frac{Skor\ total\ yang\ diperoleh}{Skor\ maksimal}\right) x\ 100\%$$

Kemudian diklasifikasikan ke dalam lima kategori kelayakan berdasarkan rentang persentase berikut:

Tabel 2. Kategori Kelayakan

Rentang Skor (%)	**Kategori Kelayakan**
80 - 90%	Sangat layak
60% - 79%	Layak
40 – 59 %	Cukup Layak
20% - 39%	Kurang Layak
0% - 19%	Sangat Kurang Layak

Pendekatan ini digunakan untuk menilai kelayakan dan efektivitas sistem Integrated Monitoring System berbasis IoT yang dikembangkan, baik dari sisi teknis (akurasi pembacaan sensor dan tampilan data) maupun dari sisi fungsional (respon perangkat terhadap skenario pengujian serta kemudahan pengguna dalam memantau data secara real-time).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Berdasarkan hasil wawancara dengan instruktur PKP-PK di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, teridentifikasi bahwa kendaraan Steyr 91 Rosenbauer masih menggunakan indikator analog untuk memantau level air dalam tangki. Indikator analog tersebut tidak akurat dan sering mengalami error, khususnya karena usia kendaraan yang sudah tua. Masalah utama yang terjadi adalah indikator tetap menunjukkan kondisi penuh padahal air sebenarnya sudah habis, sehingga proses pelatihan terpaksa dihentikan secara mendadak. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) sangat diperlukan dengan fitur-fitur utama:

1. indikator digital yang mampu menampilkan persentase level air secara akurat,
2. Dashboard pemantauan yang mudah diakses
3. Indikator visual untuk peringatan saat air hampir habis
4. kemampuan menyimpan data untuk keperluan evaluasi historis.

4.1.2. Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan komponen perangkat keras dan perangkat lunak untuk menciptakan sistem monitoring yang komprehensif. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi komponen utama sistem.

Tabel 3. Komponen Utama Sistem Monitoring Level Air

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Sensor JSN-SR04T	Ultrasonik waterproof	Mengukur ketinggian air dalam tangki
Mikrokontroler ESP32 DevKit V1	WiFi enabled	Pusat kendali sistem dan transmisi data ke cloud
Display OLED 0.96"	Resolusi 128x64	Menampilkan persentase level air secara real-time
LED Indikator	LED merah	Peringatan visual saat level air <10%
Buzzer	Piezoelectric	Peringatan audio saat level air <10%
Catu Daya	Baterai Li-Ion + LM2596	Sumber daya portabel dengan stabilizer tegangan
Platform IoT	Arduino IoT Cloud	Dashboard monitoring dan penyimpanan data

Sistem terintegrasi dengan platform Arduino IoT Cloud yang memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui web dashboard dan aplikasi Android. Data dari ESP32 dikirim ke IoT Cloud melalui koneksi Wi-Fi, menampilkan persentase level air dan jarak sensor ke permukaan air.

4.1.3. Hasil Validasi

Validasi sistem dilakukan oleh ahli materi berupa dosen pengampu IoT dan instruktur PKP. Tabel 4 menunjukkan rincian skor validasi berdasarkan 10 kriteria penilaian.

Tabel 4. Rincian Skor Validasi Sistem

No	Kriteria Penilaian	Skor
1	Ketepatan Pembacaan Sensor	5
2	Kecepatan Respon Pembacaan	4,5
3	Kestabilan Koneksi WiFi ke Cloud	5
4	Keakuratan Tampilan OLED	5
5	Respon Indikator LED Peringatan	4
6	Daya Tahan Perangkat	3,5
7	Kemudahan Akses Data Monitoring di Cloud	4,5
8	Keamanan Koneksi Cloud	4,5
9	Kesesuaian Desain Sistem Monitoring	5
10	Kemudahan Perawatan dan Operasional Perangkat	4,5
Total Skor		**45,5**
Skor Maksimal		**50**
Persentase Kelayakan		**91%**

Berdasarkan persentase kelayakan 91%, sistem dikategorikan "Sangat Layak" untuk digunakan dalam kegiatan pelatihan kendaraan pemadam kebakaran.

4.1.4. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan pendekatan langsung (in-situ testing) untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi operasional. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian pada berbagai kondisi level air.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem pada Berbagai Kondisi Air

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

No	Kondisi Air	Deskripsi Pengujian	Indikasi Keberhasilan	Respon Perangkat
1	Di atas ambang batas (>25%)	Menguji perangkat saat ketinggian air melebihi 25%	Persentase ketinggian air harus tampil akurat pada OLED display	OLED display menampilkan persentase sesuai nilai aktual; tidak ada peringatan yang muncul
2	Di bawah ambang batas (<25%)	Menguji perangkat saat air berada di bawah ambang batas 25%	OLED display menunjukkan nilai <25%; data terkirim ke cloud dan LED menyala	LED menyala sebagai peringatan visual
3	Di bawah ambang batas kritis (<10%)	Menguji perangkat di ambang batas <10%	OLED display menunjukkan nilai <10%; data terkirim ke cloud, LED menyala dan buzzer berbunyi	LED menyala dan buzzer berbunyi sebagai peringatan kritis

4.2. Hasil Penelitian

4.2.1. Efektivitas Sistem Monitoring

Sistem monitoring level air berbasis IoT yang dikembangkan menunjukkan efektivitas tinggi dalam tiga aspek utama. **Pertama**, akurasi pengukuran menunjukkan toleransi kesalahan ±1,2%, cukup akurat untuk keperluan pelatihan operasional. Data yang ditampilkan pada layar OLED dan dashboard IoT konsisten dengan kondisi aktual di tangki. **Kedua**, kinerja fungsi peringatan berfungsi optimal dengan indikator LED yang menyala otomatis saat level air <10% dan dapat diamati dengan jelas meskipun dalam kondisi terang. **Ketiga**, kemampuan pemantauan jarak jauh melalui Arduino IoT Cloud memungkinkan akses real-time tanpa perlu berada di dekat kendaraan. Sistem baru ini mengatasi kelemahan indikator analog yang sering menunjukkan kondisi "penuh" meskipun air sudah habis. Selama pengujian lapangan, sistem menunjukkan respons baik dengan pembaruan data setiap 2-3 detik tanpa keterlambatan signifikan selama koneksi Wi-Fi tersedia.

4.2.2. Keunggulan IoT dalam Sistem Monitoring

Penerapan teknologi IoT memberikan keunggulan signifikan dibandingkan sistem konvensional. **Akses real-time** memungkinkan pemantauan melalui web dashboard dan aplikasi mobile tanpa pemeriksaan fisik tangki. **Penyimpanan data** otomatis di cloud memungkinkan analisis tren konsumsi air dan evaluasi efektivitas pelatihan, yang tidak tersedia pada sistem analog sebelumnya. **Peringatan dini** otomatis dapat memberikan notifikasi jika volume air menurun drastis, meningkatkan efisiensi proses pengisian ulang air. Sistem ini meningkatkan manajemen pelatihan dengan mengelola beberapa unit kendaraan sekaligus dan menyediakan dokumentasi otomatis untuk keperluan evaluasi operasional.

4.2.3. Relevansi dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Adeagbo (2024) yang menggunakan ESP32 untuk pemantauan lingkungan dengan aplikasi Blynk, menunjukkan fleksibilitas ESP32 dalam sistem monitoring real-time. Omar et al. (2024) dalam penelitian pemantauan kualitas udara di El Salvador menggunakan ESP32 dan platform cloud, memberikan validasi pendekatan teknologi yang serupa. Gadekar (2023) dalam sistem CanSat membuktikan kemampuan ESP32 untuk aplikasi pemantauan bergerak, relevan dengan konteks kendaraan pemadam kebakaran.

4.2.4. Keterbatasan Penelitian

Dalam proses pengembangan sistem, teridentifikasi beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian untuk pengembangan selanjutnya. Tabel 6 merangkum keterbatasan dan implikasinya.

Tabel 6. Keterbatasan Penelitian dan Implikasinya

No	Keterbatasan	Deskripsi	Implikasi
1	Cakupan Sensor	Hanya memantau air, belum mencakup busa pemadam	Perlu pengembangan sensor tambahan untuk media lain

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

2	Ketergantungan Internet	Memerlukan koneksi Wi-Fi untuk monitoring jarak jauh	Perlu backup sistem offline atau koneksi alternatif
3	Prototipe Belum Permanen	Masih menggunakan breadboard	Perlu miniaturisasi dan casing tahan lingkungan keras
4	Pengujian Terbatas	Belum diuji dalam kondisi operasi nyata	Perlu pengujian lapangan dalam misi sesungguhnya

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan sistem monitoring level air berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan berhasil membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelatihan pemadam kebakaran di lingkungan PPI Curug dengan menggantikan indikator analog yang tidak akurat dengan sistem digital berbasis ESP32 dan Arduino IoT Cloud. Sistem ini memberikan informasi level air secara real-time dan akurat, serta menampilkan data baik secara lokal melalui OLED maupun secara jarak jauh melalui dashboard online.

Selain itu, fitur indikator LED sebagai peringatan saat air rendah memungkinkan instruktur dan peserta pelatihan untuk melakukan tindakan cepat sebelum tangki benar-benar kosong. Hal ini secara langsung berdampak pada pengurangan waktu henti pelatihan, peningkatan kesiapsiagaan, serta memastikan proses simulasi berjalan tanpa gangguan teknis akibat kesalahan pembacaan volume air.

Dengan adanya fitur pemantauan jarak jauh, sistem ini juga meningkatkan efisiensi logistik, karena pengisian air dapat dilakukan sebelum pelatihan dimulai berdasarkan data yang sudah ditampilkan dari jauh. Kemampuan penyimpanan data historis mendukung proses evaluasi yang lebih berbasis data terhadap penggunaan air selama pelatihan.

Secara keseluruhan, sistem monitoring yang dikembangkan telah menjawab kebutuhan nyata di lapangan, dan terbukti mampu meningkatkan keandalan operasional dan efektivitas proses pelatihan PKP-PK, menjadikannya solusi teknologi yang relevan dan aplikatif di lingkungan pendidikan vokasi penerbangan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem monitoring level air berbasis IoT yang telah dilakukan, maka saran-saran berikut dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Uji Coba Jangka Panjang
   Disarankan untuk melakukan uji coba sistem dalam jangka waktu yang lebih lama dan dalam kondisi operasional nyata, agar dapat mengevaluasi keandalan dan kestabilan sistem dalam berbagai situasi.
2. Penguatan Konstruksi Fisik Alat
   Untuk mendukung penggunaan di lapangan, sistem sebaiknya dirakit dengan casing yang lebih kokoh, tahan air, dan tahan getaran agar aman digunakan secara permanen di kendaraan pemadam kebakaran.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih Segenap Dosen dan Instruktur beserta Staff Akademik pada Program Studi Pertolongan Kecelakaan Pesawat Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, serta para pembimbing Bapak Togi Adnan Maruli Sinaga, S.E., MA., dan Ibu Emilia Rahajeng Larasati, S.S.T., M.M.Tr., atas bimbingan dan dukungannya selama proses penelitian

DAFTAR PUSTAKA

[1] Volva, “Spesifikasi dan Sejarah Steyr 91 Rosenbauer,” 2022.
[2] B. Adam, et al., “Evaluating the Use of Analog Indicators in Firefighting Training,” *Journal of Fire Safety*, vol. 15, no. 2, pp. 55–63, 2019.
[3] A. Baballe, et al., “Limitations of Conventional Water Level Indicators in Emergency Vehicles,” *International Journal of Emergency Management*, vol. 8, no. 1, pp. 44–53, 2022.

p-ISSN : 2808-909X e-ISSN : 2798-2505

[4] E. Wardana and N. A. Azam, "Real-Time Monitoring Systems for Training Vehicles," *Jurnal Teknologi dan Keselamatan*, vol. 12, no. 4, pp. 201–210, 2024.
[5] R. Lynn, et al., "Integrated IoT Dashboard for Vehicle Monitoring," *Sensors and Systems*, vol. 28, no. 3, pp. 145–156, 2020.
[6] M. Al-shareeda, et al., "Cloud-Integrated Ultrasonic Monitoring Systems," *International Journal of IoT Applications*, vol. 6, no. 2, pp. 66–74, 2025.
[7] T. Huque, et al., "IoT Applications in Firefighting Resource Management," *Fire Science and Technology*, vol. 42, no. 1, pp. 87–95, 2023.
[8] P. Patel, et al., "Embedded Systems in Emergency Vehicle Operations," *International Journal of Engineering Research*, vol. 11, no. 2, pp. 101–109, 2016.
[9] Khatulistiwa, "Analisis Sistem Indikator Air pada Kendaraan Pemadam," 2022.
[10] E-Journal Universitas Teknokrat Indonesia, "Implementasi Sistem Pemantauan Level Air Berbasis Mikrokontroler," 2022.
[11] Andang, et al., "Penggunaan Sensor Ultrasonik untuk Pengukuran Level Air," *Jurnal Teknologi Otomasi*, vol. 4, no. 1, pp. 12–19, 2019.
[12] Chobir, et al., "Waterproof Ultrasonic Sensors for Outdoor Applications," *Electronics Engineering Review*, vol. 3, no. 2, pp. 23–30, 2017.
[13] A. Pramuditya, et al., "Pemanfaatan ESP32 dalam Sistem IoT," *Jurnal Riset Informatika*, vol. 5, no. 2, pp. 45–53, 2023.
[14] M. Sharrma, "Efficient Lithium-Ion Battery Charging Techniques," *Power Electronics Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 34–41, 2023.
[15] Setyawan, "Penggunaan OLED pada Sistem Embedded," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 6, no. 2, pp. 14–21, 2017.
[16] S. Simatupang, et al., "LED Indicators for Low-Power Applications," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 8, no. 1, pp. 22–28, 2022.
[17] Sofyan, et al., "Breadboard and Jumper Cable Usage in Prototyping," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 18–25, 2020.
[18] Instruments, "LM2596 Datasheet," Texas Instruments, 2023.
[19] Manurung, et al., "Buzzer Module for Warning Systems," *Jurnal Sistem Elektronik*, vol. 7, no. 1, pp. 11–17, 2021.
[20] F. Fezari and A. Al Dahoud, "Arduino IDE as IoT Development Environment," *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, no. 42, pp. 8–15, 2018.
[21] U. Ismailov and M. Jo'rayev, "Microcontroller Programming in C/C++," *Journal of Embedded Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 54–60, 2022.
[22] P. Tsyrulnyk, et al., "MQTT Integration in Arduino IoT Cloud," *IoT Systems Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 99–107, 2022.
[23] O. Krupych and V. Levush, "IoT Dashboard Optimization," *Journal of Cloud Computing*, vol. 14, no. 3, pp. 75–83, 2025.
[24] Nugroho and R. Siagian, "Pemanfaatan Wi-Fi untuk Monitoring," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 2, no. 1, pp. 31–37, 2013.
[25] A. Karim, et al., "High-Speed Wireless Data Transmission," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 48–55, 2016.