

PROTOTYPE MONITORING OIL LEAKAGE GENERATOR PADA X-RAY DENGAN NOTIFIKASI TELEGRAM DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO HATTA

Arnanda¹, Catra Indra Cahyadi², Dedy Mahyuda³, Ayub Wimatra⁴, Achmad Chair⁵

Politeknik Penerbangan Medan, Sumatera Utara

e-mail: ¹arnanda191004@gmail.com, ²catraindracahyadi@gmail.com,

³dedymahyuda.ap2@gmail.com, ⁴ayub83wimatra@gmail.com,

⁵achmadchairlecturer@gmail.com

Abstract: *This study aims to design and develop an oil leakage monitoring system for an X-ray generator capable of automatically detecting oil leaks and providing real-time notifications through the Telegram application. Oil leakage in an X-ray generator can reduce cooling performance and electrical insulation, potentially causing generator damage and disrupting airport security operations. The developed system employs an ESP32 microcontroller as the main controller, an HC-SR04 ultrasonic sensor to monitor liquid level changes, a float switch as a liquid level detection sensor, and a buzzer as a local alarm. Sensor data are processed by the ESP32 and transmitted to users via Telegram using a Wi-Fi network. This research applies the Research and Development (R&D) method, consisting of problem identification, literature review, system design, implementation, testing, and evaluation stages. The results indicate that the prototype successfully detects oil leakage indications, activates the buzzer, and sends real-time notifications to users through Telegram. The proposed system is expected to improve X-ray generator maintenance by enabling early oil leak detection, thereby minimizing the risk of equipment failure and enhancing the operational reliability of aviation security equipment.*

Keywords: *oil leakage monitoring, X-ray generator, ESP32, ultrasonic sensor, Float switch, Telegram, Internet of Things (IoT).*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring oil leakage pada generator mesin X-ray yang mampu mendeteksi kebocoran secara otomatis dan memberikan notifikasi secara real-time melalui aplikasi Telegram. Oil leakage pada generator X-ray dapat menurunkan kemampuan pendinginan dan isolasi listrik sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan pada generator serta mengganggu operasional sistem keamanan penerbangan. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau perubahan level cairan, sensor float switch sebagai pendeteksi batas level oli, serta buzzer sebagai alarm lokal. Data dari sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan kepada pengguna melalui Telegram menggunakan jaringan WiFi. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan tahapan identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Hasil perancangan menunjukkan bahwa prototype mampu mendeteksi indikasi oil leakage, mengaktifkan buzzer, serta mengirimkan notifikasi secara real-time kepada pengguna. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pemeliharaan generator X-ray melalui deteksi dini kebocoran sehingga dapat meminimalkan risiko kerusakan serta mendukung keandalan operasional peralatan keamanan penerbangan.

Kata kunci: monitoring oil leakage, generator X-ray, ESP32, sensor ultrasonik, Float switch, Telegram, Internet of Things (IoT).

PENDAHULUAN

Peralatan X-ray merupakan infrastruktur esensial dalam sistem keamanan penerbangan yang berfungsi untuk melakukan inspeksi barang bawaan penumpang secara non-destruktif melalui pemanfaatan radiasi sinar-X. Keandalan operasionalnya sangat krusial, baik pada fasilitas komersial berskala internasional seperti Bandara Internasional Soekarno–Hatta, maupun sebagai sarana pembelajaran praktik taruna di institusi pendidikan seperti Politeknik Penerbangan Medan. Kinerja sistem X-ray sangat bergantung pada integrasi setiap subsistemnya, di mana salah satu komponen paling kritis adalah generator tegangan tinggi. Generator ini bertugas menghasilkan energi listrik untuk mengaktifkan tabung sinar-X dan menggunakan oli khusus sebagai media pendingin sekaligus isolator listrik. Oleh karena itu, kondisi fisik dan kualitas oli menjadi faktor penentu utama bagi performa dan keawetan mesin.

Dalam siklus operasi jangka panjang, paparan terhadap degradasi material, tekanan termal, vibrasi mekanis, serta keausan komponen penyekat dapat memicu terjadinya kebocoran oli (oil leakage). Permasalahan ini sering kali tidak disadari oleh operator karena berkembang secara bertahap tanpa menunjukkan indikasi awal yang spesifik. Di sisi lain, metode pengawasan melalui inspeksi manual memiliki keterbatasan dalam mendeteksi anomali secara real-time. Kebocoran yang luput dari deteksi dini akan menurunkan kapasitas pendinginan dan isolasi kelistrikan secara drastis, yang berisiko memicu overheating, kegagalan sistem, hingga kerusakan komponen internal generator dengan dampak biaya perbaikan yang signifikan.

Kerentanan subsistem generator ini dibuktikan oleh beberapa insiden di lapangan. Berdasarkan Laporan Kerusakan Generator X-ray Nuctech di Terminal 1 Bandara Soekarno–Hatta pada tahun 2014, tercatat adanya gangguan

berulang pada unit Nuctech CX 6040D yang meliputi generator fault, over current, hingga galat X-ray Generator Does Not Work Properly. Penanganan gangguan tersebut mengharuskan penggantian hingga pemindahan (kanibalisasi) generator dari unit lain. Kasus serupa juga tercatat di Politeknik Penerbangan Medan berdasarkan laporan pemeliharaan pada 4–5 Juli 2025, yang menemukan adanya oil leakage pada bagian samping generator. Meskipun tindakan korektif berupa penggantian rubber seal, packing seal, dan penambahan oli telah dilakukan, generator tetap mengalami kegagalan berupa arc error. Dampaknya, sistem terpaksa dioperasikan secara terbatas dalam mode single view menggunakan generator bagian bawah. Temuan empiris ini menegaskan bahwa kebocoran oli merupakan ancaman nyata terhadap keandalan operasional sistem X-ray.

Berdasarkan celah permasalahan tersebut, terdapat urgensi untuk menghadirkan sebuah sistem deteksi dini (monitoring) oil leakage yang mampu bekerja secara otomatis, kontinu (24 jam), dan real-time. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan purwarupa (prototype) sistem monitoring berbasis sensor pendeteksi cairan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32. Penggunaan ESP32 memungkinkan implementasi sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang diintegrasikan dengan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi peringatan. Telegram dipilih karena bebas biaya, memiliki tingkat aksesibilitas tinggi, dan mendukung pengiriman pesan secara instan. Purwarupa ini akan diimplementasikan dan diuji pada unit X-ray di lingkungan Politeknik Penerbangan Medan guna mencegah eskalasi kerusakan generator di masa mendatang.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D)

dengan pendekatan rekayasa sistem (engineering approach) untuk merancang dan membangun prototype monitoring oil leakage pada generator mesin X-ray. Tahapan penelitian terdiri atas identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian dan validasi, serta analisis dan evaluasi. Pendekatan tersebut digunakan karena penelitian berorientasi pada pengembangan sistem yang mampu melakukan pemantauan kebocoran oli secara otomatis dan memberikan peringatan secara real-time.

Tahap identifikasi masalah dilakukan dengan mengkaji potensi oil leakage pada generator X-ray yang dapat mengganggu fungsi pendinginan dan isolasi listrik. Selanjutnya, studi literatur dilakukan terhadap konsep monitoring oil leakage, generator X-ray, sensor pendeteksi cairan, mikrokontroler, serta sistem notifikasi berbasis Internet of Things (IoT). Hasil kajian tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan komponen dan prinsip kerja sistem.

Perancangan sistem meliputi bagian input, proses, komunikasi, dan output. Bagian input menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi perubahan ketinggian cairan dan float switch untuk mendeteksi batas cairan. Data kedua sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Komunikasi sistem menggunakan jaringan Wi-Fi yang terintegrasi pada ESP32, sedangkan bagian output terdiri atas buzzer sebagai alarm lokal dan Telegram sebagai media notifikasi jarak jauh. Prototype dibuat dalam bentuk wadah penampung yang ditempatkan untuk menampung cairan akibat kebocoran generator X-ray. ESP32 memproses kondisi yang terdeteksi sensor untuk menentukan status sistem, mengatur buzzer, dan mengirimkan informasi kepada pengguna melalui Telegram.

Pengujian dilakukan terhadap sensor ultrasonik HC-SR04, float switch, buzzer, koneksi Wi-Fi, notifikasi

Telegram, dan sistem secara keseluruhan. Pengujian sensor ultrasonik dilakukan pada enam variasi ketinggian cairan, yaitu 4,38 mm; 6,56 mm; 8,75 mm; 10,94 mm; 13,13 mm; dan 15,31 mm. Setiap variasi diuji sebanyak lima kali dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap ketinggian aktual. Pengujian float switch dilakukan dengan menaikkan ketinggian cairan secara bertahap untuk mengamati perubahan kondisi input pada ESP32 ketika pelampung mencapai batas yang ditentukan. Pengujian buzzer dilakukan dengan mengamati kesesuaian pola dan tempo bunyi terhadap tingkat kondisi kebocoran. Sementara itu, pengujian Telegram dilakukan dengan mengamati keberhasilan penerimaan pesan, kesesuaian isi notifikasi dengan kondisi sistem, serta waktu pengiriman pesan.

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif digunakan untuk mengevaluasi ketepatan pembacaan sensor ultrasonik melalui perbandingan antara hasil pembacaan sensor dengan ketinggian aktual serta untuk mengamati waktu respons notifikasi. Analisis kualitatif digunakan untuk mengevaluasi fungsi float switch, buzzer, koneksi Wi-Fi, Telegram, dan integrasi sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan indikator keberhasilan untuk menentukan apakah prototype monitoring oil leakage telah bekerja sesuai dengan rancangan.

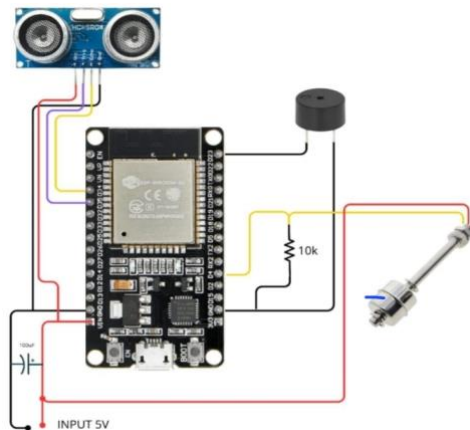
Penelitian dilaksanakan di Politeknik Penerbangan Medan pada periode Maret hingga Juli 2026. Pengujian dilakukan dalam skala prototype untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi indikasi oil leakage serta memberikan peringatan lokal dan jarak jauh kepada pengguna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa prototype

monitoring oil leakage pada generator mesin X-ray berbasis ESP32 dengan notifikasi Telegram. Sistem mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 dan float switch sebagai perangkat input, ESP32 sebagai pusat pengolahan data, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram sebagai media notifikasi jarak jauh. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi perubahan ketinggian cairan secara bertahap, sedangkan float switch digunakan untuk mendeteksi ketika cairan telah mencapai batas yang ditentukan. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan tingkat kondisi sistem dan menghasilkan peringatan kepada pengguna.

Cara kerja sistem dimulai ketika cairan akibat kebocoran tertampung pada wadah penampung. Perubahan ketinggian cairan dibaca oleh sensor ultrasonik HC-SR04, kemudian ESP32 menentukan status berdasarkan nilai yang diperoleh. Ketika ketinggian cairan meningkat, buzzer memberikan peringatan dengan tempo yang semakin cepat dan Telegram mengirimkan informasi mengenai kondisi sistem. Float switch berfungsi sebagai pendeteksi batas tambahan yang akan aktif ketika cairan mencapai pelampung. Dengan konfigurasi tersebut, sistem dapat memberikan peringatan awal sekaligus mendeteksi kondisi batas kebocoran.



Gambar 1 Prototype Monitoring Oil Leakage Generator X-ray

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026

Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengetahui

kemampuan sensor dalam membaca ketinggian cairan pada wadah penampung. Pengujian dilakukan pada enam variasi ketinggian aktual dan setiap kondisi diuji sebanyak lima kali. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan pengukuran aktual menggunakan mistar.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

No.	Ketinggian Aktual (mm)	Rata-rata Sensor (mm)	Selisih Absolut (mm)	Error (%)
1	4,38	2,60	1,78	40,64
2	6,56	5,60	1,14	17,32
3	8,75	6,80	1,95	22,29
4	10,94	8,20	2,74	25,05
5	13,13	12,20	2,03	15,43
6	15,31	13,40	2,59	16,89

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan ketinggian cairan pada seluruh titik pengujian. Rata-rata error keseluruhan sebesar 22,94%, dengan error terkecil sebesar 15,43% pada ketinggian 13,13 mm dan terbesar sebesar 40,64% pada ketinggian 4,38 mm. Perbedaan pembacaan menunjukkan bahwa tingkat ketepatan sensor belum sama pada setiap kondisi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh posisi pemasangan sensor, bentuk wadah, kondisi permukaan cairan, serta pantulan gelombang ultrasonik pada dinding wadah. Meskipun demikian, sensor dapat digunakan sebagai pendeteksi awal karena mampu menunjukkan perubahan ketinggian cairan sebelum float switch aktif.

Pengujian Float Switch

Pengujian float switch dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi cairan ketika mencapai batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Float Switch

No.	Ketinggian Cairan	Kondisi Cairan	Posisi Pelampung	Input ESP32	Hasil
1	5 mm	Belum mencapai sensor	Turun	LOW	Berhasil
2	10 mm	Belum mencapai sensor	Turun	LOW	Berhasil
3	15 mm	Belum mencapai sensor	Turun	LOW	Berhasil
4	20 mm	Belum mencapai sensor	Turun	LOW	Berhasil
5	25 mm	Belum mencapai sensor	Turun	LOW	Berhasil
6	30 mm	Mencapai sensor	Naik	HIGH	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa float switch bekerja sesuai rancangan. Pada ketinggian 5–25 mm, cairan belum mencapai sensor sehingga pelampung tetap berada pada posisi turun dan input ESP32 terbaca LOW. Pada ketinggian 30 mm, cairan mencapai sensor sehingga pelampung naik dan input berubah menjadi HIGH. Hasil tersebut menunjukkan bahwa float switch dapat digunakan sebagai sensor batas untuk memperkuat hasil deteksi sensor ultrasonik. Kombinasi kedua sensor memungkinkan sistem melakukan deteksi secara bertahap sekaligus memberikan konfirmasi ketika cairan telah mencapai batas tertentu.

Pengujian Buzzer dan Notifikasi Telegram

Hasil pengujian menunjukkan bahwa buzzer mampu memberikan peringatan lokal sesuai dengan tingkat ketinggian cairan yang terdeteksi. Pada kondisi aman atau normal, yaitu ketika ketinggian cairan kurang dari 4,38 mm, buzzer berada dalam keadaan mati. Ketika ketinggian cairan meningkat, pola bunyi buzzer berubah menjadi semakin cepat

sesuai dengan peningkatan status sistem, mulai dari informasi 10%, informasi 15%, informasi 20%, siaga 25%, hingga awas 30%. Apabila ketinggian cairan mencapai $\geq 15,31$ mm atau float switch aktif, sistem menetapkan kondisi bahaya kritis dan buzzer berbunyi secara terus-menerus. Hasil tersebut menunjukkan bahwa buzzer dapat berfungsi sebagai peringatan lokal yang memungkinkan pengguna mengetahui peningkatan kondisi kebocoran secara langsung tanpa harus memantau aplikasi Telegram.

Selain peringatan lokal, sistem berhasil mengirimkan notifikasi jarak jauh melalui Telegram. Pengujian dilakukan pada setiap tingkat kondisi sistem dan seluruh pesan berhasil diterima dengan informasi yang sesuai. Notifikasi memuat status sistem, ketinggian cairan, persentase kapasitas, estimasi volume, serta kondisi buzzer. Ketika terjadi perubahan tingkat kondisi, ESP32 mengirimkan informasi terbaru melalui jaringan Wi-Fi. Sistem tidak mengirimkan pesan secara berulang selama kondisi masih berada pada tingkat yang sama sehingga dapat mengurangi pengiriman notifikasi yang tidak diperlukan.

Table 3 Pengujian Notifikasi Telegram

No	Komponen	Pin ESP32	Jenis Pin	Fungsi
1	<i>Float switch</i>	GPIO 4	<i>Input digital</i>	Membaca kondisi pelampung saat cairan mencapai batas tertentu

2	<i>Buzzer</i>	GPIO 23	<i>Output</i> digital	Mengaktifkan alarm suara saat terdeteksi kebocoran
3	<i>Trigger HC-SR04</i>	GPIO 32	<i>Output</i> digital	Mengirim pulsa perintah pengukuran ke sensor ultrasonik
4	<i>Echo HC-SR04</i>	GPIO 35	<i>Input</i> digital	Menerima sinyal pantulan dari sensor ultrasonik

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026

Mengacu pada seluruh hasil pengujian, purwarupa pemantauan kebocoran oli (oil leakage) ini telah berhasil menyatukan komponen sensor ultrasonik HC-SR04, float switch, ESP32, buzzer, dan aplikasi Telegram ke dalam sebuah sistem pengawasan yang terintegrasi. Sensor ultrasonik bertugas sebagai alat deteksi awal yang memantau fluktuasi level cairan secara berkala, sementara float switch berperan sebagai pendeteksi ambang batas. Dalam pengujian float switch, sinyal masukan pada ESP32 menunjukkan status LOW di rentang ketinggian 5–25 mm, lalu berganti menjadi HIGH di angka 30 mm saat cairan menyentuh pelampung. Perpaduan kedua sensor ini menghasilkan mekanisme deteksi ganda, yakni pengawasan terhadap tren kenaikan volume dan identifikasi batas maksimal cairan secara faktual.

Evaluasi terhadap kinerja sensor ultrasonik mencatatkan tingkat galat (error) rata-rata sebesar 22,94%. Simpangan tertinggi terjadi pada level cairan 4,38 mm dengan error mencapai 40,64%, sedangkan akurasi terbaik didapatkan pada ketinggian 13,13 mm dengan galat sebesar 15,43%. Data ini mengindikasikan bahwa presisi pembacaan sensor HC-SR04 masih bervariasi bergantung pada jarak objeknya. Variasi akurasi ini kemungkinan dipicu oleh faktor tata letak sensor, geometri wadah, ketidakrataan permukaan oli, maupun efek pantulan sinyal ultrasonik dari dinding penampung. Oleh sebab itu, proses kalibrasi serta penentuan posisi sensor yang tepat sangat krusial guna menjamin stabilitas data yang dihasilkan.

Walaupun terdapat simpangan pada akurasi pengukuran HC-SR04, peran

esensial sistem untuk mengenali anomali volume cairan tetap berfungsi dengan baik. Hal ini dikarenakan sensor ultrasonik tidak menjadi acuan tunggal dalam menetapkan status kritis, melainkan ditopang oleh keberadaan float switch. Sensor ultrasonik menyajikan data kenaikan level oli sebelum menyentuh batas bahaya, sedangkan float switch bertindak sebagai validator akhir saat cairan benar-benar mengangkat pelampung. Sinergi kedua perangkat ini sangat efektif dalam memfasilitasi peringatan dini sekaligus memastikan deteksi absolut ketika volume kebocoran semakin tinggi.

Tindakan sistem terhadap dinamika ketinggian oli juga direpresentasikan secara baik oleh buzzer dan notifikasi Telegram. Variasi tempo bunyi buzzer yang selaras dengan eskalasi bahaya berfungsi sebagai peringatan di lokasi, sementara aplikasi Telegram memfasilitasi pemantauan jarak jauh. Dalam uji coba, semua level peringatan di Telegram—dari status normal hingga darurat kritis—berhasil diterima dengan muatan pesan yang akurat. Fakta ini membuktikan keandalan ESP32, yang tidak sekadar berfungsi sebagai unit komputasi data sensor, tetapi juga sukses mengeksekusi transmisi informasi memanfaatkan konektivitas Wi-Fi.

Keterpaduan fungsi antara proses akuisisi data, pengolahan, alarm lokal, dan pesan peringatan jarak jauh merupakan keunggulan utama dari purwarupa ini. Saat gejala kebocoran muncul, naiknya permukaan cairan akan ditangkap oleh sensor, dievaluasi oleh ESP32, lalu dikonversi menjadi hierarki peringatan pada buzzer dan Telegram. Alur kerja operasional ini memberi ruang bagi operator untuk mendapatkan

pemberitahuan secara lekas, sehingga proses inspeksi dan mitigasi terhadap generator X-ray dapat segera dieksekusi sebelum kerusakan meluas.

Kendati demikian, purwarupa ini masih memiliki sejumlah kelemahan, khususnya terkait presisi sensor ultrasonik serta ketergantungan fitur notifikasi pada ketersediaan koneksi internet. Angka rata-rata galat 22,94% mengisyaratkan perlunya optimalisasi titik pemasangan dan kalibrasi sensor yang lebih mendalam. Di samping itu, instabilitas jaringan Wi-Fi berisiko menghambat keterlambatan pengiriman pesan ke gawai pengguna. Oleh karenanya, fokus pengembangan alat di masa mendatang sebaiknya diarahkan pada penyempurnaan akurasi deteksi dan penguatan stabilitas jalur komunikasi.

Sebagai kesimpulan akhir, riset ini membuktikan bahwa purwarupa pemantauan oil leakage telah sanggup mengoperasikan seluruh fungsi rancangannya dengan baik, yakni mendeteksi fluktuasi cairan, mengklasifikasikan tingkat bahaya, mengaktifkan peringatan buzzer di lokasi, serta menyebarkan notifikasi via Telegram. Kehadiran inovasi ini sangat aplikatif untuk menunjang identifikasi dini kebocoran oli pada generator mesin X-ray, sekaligus mempermudah prosedur pemeliharaan dan pengawasan kinerja peralatan pendukung penerbangan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi oil leakage pada generator mesin X-ray telah berhasil dirancang untuk beroperasi secara otomatis dan kontinu. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau perubahan level cairan secara bertahap, serta sensor float switch sebagai pendeteksi batas ambang cairan pada wadah penampung. Sebagai langkah

mitigasi dan peringatan dini, pemrosesan data sensor dilakukan secara real-time untuk memicu aktuasi buzzer sebagai alarm lokal, sehingga indikasi kebocoran dapat diidentifikasi lebih cepat tanpa harus bergantung pada rutinitas inspeksi manual. Lebih lanjut, fungsionalitas sistem ini semakin optimal dengan keberhasilan integrasinya bersama aplikasi Telegram. Melalui konektivitas Wi-Fi, platform yang efisien dan bebas biaya tersebut mampu mengirimkan pesan notifikasi secara otomatis kepada pengguna, sehingga status indikasi kebocoran dapat dipantau dari jarak jauh dengan lebih mudah, praktis, dan responsif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Auliya, A. A. (2024). Laporan On The Job Training II Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri. Politeknik Penerbangan Surabaya.
- Ayub, G. A. (2021). Analisa penggunaan mesin X-ray sebagai security system di Bandara Internasional Husein Sastranegara. *JE-Unisla*, 6(2), 1–5. <https://doi.org/10.30736/je-unisla.v6i2.687>
- Cahyadi, C. I., & Siregar, M. F. (2021). Implementation of automatic car cleaning system with microcontroller system Atmega 8. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal): Humanities and Social Sciences*, 4(3), 7075–7083. <https://doi.org/10.33258/birci.v4i3.2548>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2014). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 241 Tahun 2014 tentang Pedoman Pengoperasian, Pemeliharaan dan Pelaporan Fasilitas Keamanan Penerbangan. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Dirham, A. A., & Lindra, N. J. (2023). Prototype sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT)

- [Tugas akhir diploma, Politeknik Negeri Ujung Pandang]. Repository Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Dwiky, M. A., & Atmiasri, A. (2025). Implementasi Float switch level sensor, ultrasonik sensor, dan water flow sensor pada prototipe sistem kendali pompa asam sulfat berbasis Arduino. *KREATIF: Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 5(3), 39–50. <https://doi.org/10.55606/kreatif.v5i3.7792>
- Espressif Systems. (2023). ESP32 technical reference manual. Espressif Systems. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- Fauzi, L. R., & Suharjo, I. (2026). Prototipe alat deteksi banjir berbasis ESP32, TinyML, dan notifikasi Telegram. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi*, 8(1), 115–137. <https://doi.org/10.53863/kst.v8i01.2115>
- Herlanggang, M. W. (2024). Prototype pendeteksi pencemaran air laut oleh limbah oli berbasis mikrokontroler. Politeknik Pelayaran Surabaya.
- Damanik, R., & Siregar, M. (2023).
- International Atomic Energy Agency. (2020). Radiation safety of X ray generators and other radiation sources used for inspection purposes and for non-medical human imaging (IAEA Safety Standards Series No. SSG-55). IAEA.
- International Civil Aviation Organization. (2022). Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation: Aviation security — Safeguarding international civil aviation against acts of unlawful interference (12th ed.). International Civil Aviation Organization.
- International Civil Aviation Organization. (2025). Auditing Annex 17 standards: USAP-CMA seminar module 4. International Civil Aviation Organization.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2024). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 9 Tahun 2024 tentang Keamanan Penerbangan Nasional.
- Lontaan, R. J., Agussalim, Rifqie, D. M., Hazriani, Sirmayanti, Lisa, N. P., Supriyanto, B. F., Syamil, A., Tambi, E. M. H., Hujemiati, & Simarmata, J. (2023). Konsep dan implementasi Internet of Things. Yayasan Kita Menulis.
- Pamungkas, A. P. R., & Dyahjatmayanti, D. (2025). Pengaruh kerusakan X-ray terhadap penanganan barang di cargo outgoing Bandar Udara Jenderal Ahmad Yani Semarang. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 18(2), 360–366. <https://doi.org/10.56521/manajemen-dirgantara.v18i2.1453>
- Rizky, M. F. (2020). Rancangan monitoring oil leakage pada turbocharger genset 1000 KVA berbasis Arduino. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP).
- Rohmah, R. N., Budiman, A., & Rohman, V. L. (2020). Sistem pemantauan dan pengendalian penggunaan air menggunakan aplikasi Telegram berbasis IoT. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*,
- Saifullah, S. (2024). Implementation of Annex 17 concerning aviation security in Indonesia. *Primanomics: Jurnal Ekonomi & Bisnis*, 22(2).
- Saryoga, R., Puspaningrum, A. S., & Ismail, I. (2025). Sistem pendeteksi ketinggian air dan perhitungan volume pada bak nutrisi vertikal hidroponik menggunakan sensor SR04T. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(2), 626–634. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i2.1661>
- Syafi'i, I., Gauthama, W., & Sihono. (2022). Pemanfaatann Arduino Uno pada eksperimental oil leakage detector piston engine Lycoming O-360. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah*

-
- Aviasi, 15(1), 18–28.
<https://doi.org/10.54147/langitbiru.v15i01.514>
- Tisna, D. R., Maulana, A., & Rahmawati, N. (2024). Pemanfaatan chatbot Telegram untuk monitoring dan kontrol sensor berbasis ESP32. *JIPI: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika*.
- Tundo, Sodik, Setiawan, K., & Aula, R. F. (2024). Penerapan IoT dengan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32 dalam monitoring penyiraman. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 5(3), 2915–2924. <https://doi.org/10.35870/jimik.v5i3.977>
- Wimatra, A., Palpialy, J. V., Sulistianingsih, I., Akbar, A., & Nasution, D. (2023, December). Internet of Things on Automatic Watering Systems for Papuan Black Orchids. In *2023 Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)* (pp. 1-7). IEEE..