



Perancangan Sistem Peringatan Dini Keadaan Darurat ATC ke PKP-PK Berbasis Internet of Things (IoT) di Bandar Udara Ranai

Fawwaz Dary Yafi^{1*}, Muhammad Arif Sulaiman², Gilang Erlangga Gunara³

^{1*3} Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Indonesia
Alamat : Jl. Raya PLP Curug, Desa Serdang Wetan, Kecamatan Legok, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten

Email: fawwazdaryyafi21@gmail.com^{1*}, arif.sulaiman@ppicurug.ac.id²,
gilangerlanggagunaraa@gmail.com³

*Penulis Korespondensi ; fawwazdaryyafi21@gmail.com

Abstract. Aviation safety at airports depends heavily on the speed and accuracy of emergency information delivery from the Air Traffic Control (ATC) tower to the Aircraft Rescue and Fire Fighting (PKP-PK) unit. At Ranai Airport, this process is still carried out manually through radio and telephone communication, which is prone to delay and miscommunication. This research purpose to design and implement an Internet of Things (IoT)-based early warning system connecting the ATC tower with the PKP-PK unit, using an ESP32 microcontroller, a LoRa SX1278 communication module, and the Telegram application as a notification medium. The research applied a Research and Development (R&D) method through system design, hardware and software development, integration, and prototype testing, including black-box testing and performance testing. The results show that the system successfully transmits emergency notifications with an average response time of 0.66 seconds, a maximum communication range of 2,000 meters, a 100% data delivery success rate, and stable operation during continuous testing. The result conclude that the developed system can accelerate emergency information delivery and support the preparedness of the PKP-PK unit at Ranai Airport.

Keywords: ATC; early warning system; Internet of Things; LoRa; PKP-PK.

Abstrak. Keselamatan penerbangan di bandar udara sangat bergantung pada kecepatan dan akurasi penyampaian informasi keadaan darurat dari Menara Air Traffic Control (ATC) kepada Unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Di Bandar Udara Ranai, proses tersebut masih dilaksanakan dengan manual melalui radio dan telepon sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan dan miskomunikasi. Tujuan penelitian yaitu membuat serta mengimplementasikan sistem peringatan dini keadaan darurat berbasis Internet of Things (IoT) yang menghubungkan Menara ATC dengan Unit PKP-PK menggunakan mikrokontroler ESP32, modul komunikasi LoRa SX1278, dan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi. Studi ini menerapkan metode Research and Development (R&D) lewat tahap perancangan, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, serta pengujian prototipe yang meliputi black-box testing dan performance testing. Hasil temuan membuktikan sistem dapat memberikan notifikasi keadaan darurat dengan waktu respons rata-rata 0,66 detik, jangkauan komunikasi maksimum 2.000 meter, tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 100%, serta mampu beroperasi secara stabil selama pengujian berkelanjutan. Hasil tersebut menyimpulkan bahwa pengembangan sistem mampu mempercepat penyampaian informasi darurat dan mendukung kesiapsiagaan Unit PKP-PK di Bandar Udara Ranai.

Kata kunci: ATC; Internet of Things; LoRa; PKP-PK; sistem peringatan dini.

1. LATAR BELAKANG

Keselamatan penerbangan merupakan aspek yang paling krusial dalam penyelenggaraan operasional bandar udara sesuai ketentuan dalam UU No. 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan (UU No. 1 Tahun 2009, 2009). *Air Traffic Controller* (ATC)

berperan penting dalam mengendalikan pergerakan pesawat di udara maupun di darat, termasuk menyampaikan informasi secara cepat dan akurat kepada Unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) apabila terjadi keadaan darurat. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor 30 Tahun 2022 tentang Petunjuk Teknis PKP-PK mengatur bahwa kecepatan respons PKP-PK sangat berkaitan dengan media penyampaian informasi darurat dari menara ATC (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2022).

Di Bandar Udara Ranai, Kabupaten Natuna, Provinsi Kepulauan Riau, sistem peringatan dini keadaan darurat (*crash bell*) belum tersedia sehingga proses penyampaian informasi darurat dari Menara ATC ke Unit PKP-PK masih dijalankan secara manual melalui radio komunikasi dan telepon. Hal itu berisiko menimbulkan keterlambatan maupun kegagalan komunikasi, padahal jarak antara Menara ATC dan Unit PKP-PK di bandar udara tersebut hanya berkisar 1 km sehingga idealnya dapat dijangkau dengan media komunikasi nirkabel yang cepat serta andal.

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan komunikasi nirkabel jarak jauh seperti LoRa (*Long Range*) membuka kesempatan guna menciptakan sistem peringatan dini yang lebih cepat, efisien, bahkan dapat diandalkan (Amane dkk., 2023). LoRa menerapkan modulasi *Chirp Spread Spectrum* yang memungkinkan pemindahan data pada jarak beberapa kilometer dengan konsumsi daya rendah, sehingga sesuai digunakan pada lingkungan bandar udara (Fahrezi dkk., 2024; Hakiki dkk., 2024). Modul LoRa SX1278 secara khusus telah terbukti mampu digunakan secara optimal dalam sistem monitoring berbasis IoT dengan performa komunikasi yang andal (Satria, 2025).

Penelitian terdahulu oleh Pradana dkk. (2022) telah merancang *crash bell* berbasis Arduino dan LoRa SX1276 dari Menara ATC ke Unit PKP-PK, namun belum mengintegrasikan notifikasi melalui aplikasi perpesanan maupun melakukan evaluasi kinerja secara menyeluruh, seperti pengujian waktu respons, kualitas sinyal (RSSI dan SNR), jangkauan komunikasi, keandalan, dan stabilitas sistem. Penelitian lain terkait deteksi kebakaran berbasis IoT (Sari dkk., 2023) dan monitoring salinitas air berbasis LoRa (Hakiki dkk., 2024) juga belum diterapkan pada konteks komunikasi darurat penerbangan. Kondisi ini menunjukkan adanya gap praktik (*implementation gap*) berupa belum tersedianya sistem peringatan dini berbasis IoT yang mampu menyampaikan

informasi darurat dari ATC ke PKP-PK secara otomatis dan real-time, sekaligus gap metode (*methodological gap*) berupa minimnya pengujian kinerja secara komprehensif pada penelitian-penelitian sejenis.

Berdasarkan uraian di atas, studi ini bermaksud membuat serta mengimplementasikan sistem peringatan awal keadaan darurat berbasis IoT yang menghubungkan Menara ATC dengan Unit PKP-PK di Bandar Udara Ranai menggunakan mikrokontroler ESP32, modul komunikasi LoRa SX1278, dan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi tambahan, serta melakukan pengujian kinerja sistem dari aspek fungsional, waktu respons, jangkauan komunikasi, keandalan, dan stabilitas.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Sistem Peringatan Dini (*Crash Bell*)

Sistem peringatan dini (*crash bell*) merupakan sistem yang dirancang untuk mendeteksi kondisi berbahaya dan memberikan notifikasi secara cepat kepada pihak berkepentingan agar dapat segera dilakukan penanganan (Pradana dkk., 2022; Bagas dkk., 2020). Sistem ini umumnya terdiri atas perangkat input berupa tombol darurat, sistem pengolah data, serta perangkat output berupa alarm suara dan indikator visual. Sejumlah riset membuktikan bahwa sistem alarm berbasis komunikasi nirkabel dapat mengoptimalkan efektivitas dan kecepatan penyampaian informasi dibandingkan sistem konvensional berbasis kabel (Pradana dkk., 2022; Dewangga & Moonlight, 2019).

2.2. *Internet of Things* (IoT)

IoT diartikan sebagai konsep teknologi yang mengintegrasikan beragam perangkat fisik ke dalam suatu jaringan, sehingga perangkat itu dapat berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis tanpa memerlukan campur tangan manusia secara langsung (Amane dkk., 2023; Wasista dkk., 2020). IoT terdiri atas sensor sebagai perangkat input, mikrokontroler sebagai pengolah data, jaringan komunikasi sebagai media transmisi, serta aktuator sebagai perangkat output (Taufik, 2025). Penerapan IoT pada sistem peringatan dini terbukti mampu meningkatkan kecepatan dan ketepatan dalam mendeteksi serta menyampaikan informasi kondisi darurat (Sari dkk., 2023; Amane dkk., 2023).

2.3. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan untuk mendukung kebutuhan sistem berbasis IoT melalui kemampuan komunikasi nirkabel Wi-Fi dan Bluetooth yang terhubung dalam satu chip (Wibowo, 2023; Imran dkk., 2020). ESP32 dilengkapi prosesor dual-core, kapasitas memori yang memadai, serta menunjang beragam protokol komunikasi berupa UART, SPI, dan I2C, sehingga bisa dihubungkan dengan sensor, aktuator, maupun modul komunikasi seperti LoRa (Wasista dkk., 2020; Fahrudin dkk., 2022).

2.4. Modul Komunikasi LoRa SX1278

LoRa (Long Range) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dibuat guna mendukung pemindahan data berjarak jauh dengan penggunaan daya rendah (Fahrezi dkk., 2024). Modul LoRa SX1278 bekerja pada frekuensi 433 MHz dan pada keadaan line of sight dapat mencapai jangkauan hingga 5-10 km, sedangkan ketika non-line of sight jangkauan umumnya berkisar 1-3 km (Fahrezi dkk., 2024; Hakiki dkk., 2024). LoRa menerapkan modulasi CSS yang mampu menahan interferensi sinyal sehingga sesuai digunakan untuk sistem monitoring, telemetri, dan peringatan dini berbasis IoT (Kusuma dkk., 2024; Satria, 2025).

2.5. Aplikasi Telegram

Telegram merupakan aplikasi pesan instan berbasis cloud yang menyediakan fitur bot untuk mengirim dan menerima pesan melalui *Application Programming Interface* (API), sehingga memungkinkan integrasi antara perangkat IoT menggunakan aplikasi Telegram sebagai media pemberitahuan secara langsung (Bustomi & Asmunin, 2021). Data yang dikirimkan melalui LoRa dari perangkat lapangan dapat diteruskan ke pengguna melalui notifikasi Telegram sehingga memungkinkan monitoring jarak jauh secara efektif (Sulthanah, 2023; Prasajo & Ayuni, 2025).

3. METODE PENELITIAN

Kajian ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D) dengan tujuan merancang, melakukan pengembangan, serta evaluasi suatu produk agar dapat dipergunakan untuk menyelesaikan permasalahan di lapangan. Produk yang

dikembangkan berupa sistem peringatan dini keadaan darurat berbasis IoT yang menghubungkan Menara ATC dengan Unit PKP-PK di Bandar Udara Ranai. Pendekatan yang diterapkan yaitu eksperimental, yang diterapkan melalui tahap identifikasi masalah, studi literatur, merancang sistem, perakitan hardware, pemrograman serta integrasi perangkat, uji sistem, analisis data, evaluasi kinerja, hingga penarikan kesimpulan dan saran.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di ruang ATC Bandar Udara Ranai, studi pustaka, pengukuran dan pengujian sistem, serta dokumentasi. Oleh karena keterbatasan peneliti untuk berada langsung di Bandar Udara Ranai selama tahap pengujian, pengujian prototipe dilakukan pada lokasi pengganti yang memiliki karakteristik lingkungan terbuka dan variasi jarak yang mendekati kondisi antara Menara ATC dan Unit PKP-PK di lokasi sebenarnya (± 1 km).

Sistem dirancang dalam dua unit utama, yaitu unit pengirim yang ditempatkan pada sisi ATC terdiri atas *push button*, mikrokontroler ESP32, dan modul LoRa SX1278; serta unit penerima yang ditempatkan pada sisi PKP-PK terdiri atas modul LoRa SX1278, mikrokontroler ESP32, buzzer, LED indikator, dan koneksi internet untuk mengirimkan notifikasi melalui bot Telegram. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE versi 2.3.10 dengan bahasa pemrograman C++. Peralatan serta bahan penelitian ditunjukkan dalam table 1 berikut.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

No	Alat/Bahan	Fungsi
1	ESP32 DevKit	Pusat pengolah data dan pengendali sistem
2	Modul LoRa SX1278	Media komunikasi data jarak jauh
3	Push button	Input untuk mengirim sinyal darurat
4	Buzzer	Alarm suara
5	LED indikator	Indikator visual keadaan darurat
6	Arduino IDE 2.3.10	Pemrograman dan unggah program ke ESP32
7	Aplikasi Telegram	Media notifikasi real-time

Uji sistem mengimplementasikan dua metode, yaitu *black-box testing* guna melakukan pengujian fungsi utama sistem (tombol darurat, pengiriman dan penerimaan data LoRa, aktivasi buzzer dan LED, serta notifikasi Telegram), dan *performance testing* untuk mengevaluasi waktu respons, jangkauan komunikasi LoRa berdasarkan nilai

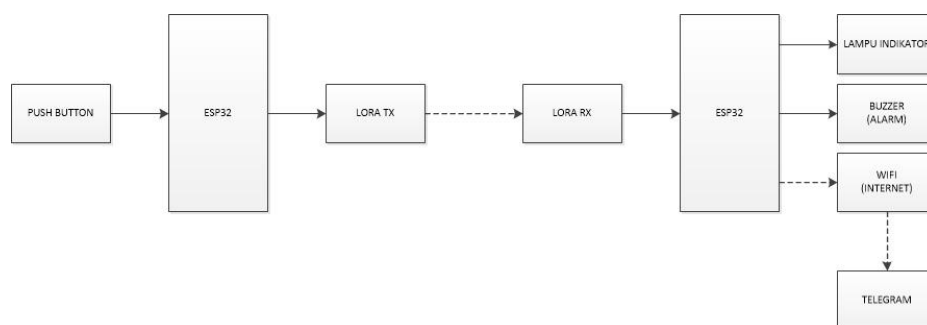
Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*, keandalan transfer data, serta stabilitas sistem selama pengoperasian kontinu. Data hasil pengujian fungsional dianalisis secara deskriptif kualitatif dan secara kuantitatif untuk hasil uji kinerja menggunakan perhitungan rata-rata dan persentase keberhasilan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1 Gambaran Umum Rancangan Sistem

Sistem peringatan dini yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, modul komunikasi LoRa SX1278 sebagai media transmisi data jarak jauh, serta aplikasi Telegram sebagai media notifikasi tambahan. Ketika tombol darurat ditekan oleh petugas ATC, ESP32 pada unit pengirim memproses input tersebut dan mengirimkan data melalui modul LoRa SX1278 menuju unit penerima di PKP-PK. Setelah data diterima, ESP32 pada unit penerima mengaktifkan buzzer dan LED sebagai alarm peringatan dini serta mengirimkan notifikasi ke Telegram secara real-time, sebagaimana ditampilkan pada diagram blok rancangan sistem pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok rancangan sistem peringatan dini berbasis IoT

4.1.2. Hasil Pengujian Fungsional (*Black-Box Testing*)

Pengujian fungsional bertujuan menjamin setiap fungsi utama sistem beroperasi sesuai perancangan. Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh skenario, mulai dari pembacaan input tombol darurat, pengiriman dan penerimaan data melalui LoRa SX1278, aktivasi *buzzer* dan LED, hingga pengiriman notifikasi Telegram, berjalan sesuai dengan keluaran yang diharapkan sebagaimana dirangkum pada table 2 berikut.

Tabel 2. Ringkasan hasil *black-box testing*

No	Fungsi yang diuji	Keluaran yang diharapkan	Hasil
1	Pembacaan tombol darurat oleh ESP32	Input terbaca oleh sistem	Berhasil
2	Pengiriman data melalui LoRa SX1278	Data terkirim ke receiver	Berhasil
3	Penerimaan data pada unit PKP-PK	Data diterima dengan benar	Berhasil
4	Aktivasi buzzer dan LED	Buzzer berbunyi, LED menyala	Berhasil
5	Pengiriman notifikasi Telegram	Pesan diterima di Telegram	Berhasil
6	Sistem pada mode standby	Tidak ada output aktif	Berhasil

4.1.3. Hasil Pengujian Kinerja Sistem

4.1.3.1. Waktu Respons dan Jangkauan Komunikasi LoRa

Pengujian waktu respons dilakukan pada beberapa variasi jarak untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kecepatan sistem dalam mengaktifkan alarm setelah tombol darurat ditekan. Pengujian jangkauan komunikasi dilakukan dengan mengamati keberhasilan pengiriman data serta nilai RSSI dan SNR pada setiap jarak. Hasil uji ini ditampilkan dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian waktu respons dan jangkauan komunikasi LoRa

Jarak (m)	Waktu respons (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Status
0	0,43	-18	8,58	Berhasil
200	0,49	-62	8,10	Berhasil
500	0,57	-81	7,25	Berhasil
1.000	0,70	-103	5,60	Berhasil
1.500	0,82	-116	2,85	Berhasil
2.000	0,98	-124	1,95	Berhasil
2.200	-	-	-	Gagal
2.500	-	-	-	Gagal

Rata-rata waktu respon sistem dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{x} = (0,43 + 0,49 + 0,57 + 0,70 + 0,82 + 0,98) / 6 = 0,66 \text{ detik}$$

Nilai RSSI turun dari -18 dBm pada jarak 0 m menjadi -124 dBm pada jarak 2.000 m, demikian pula nilai SNR menurun dari 8,58 dB menjadi 1,95 dB. Meskipun kualitas sinyal melemah seiring bertambahnya jarak, seluruh paket data pada rentang 0-2.000

meter masih dapat diterima tanpa kegagalan, sedangkan pada jarak 2.200 m dan 2.500 m tidak ada paket data yang diterima. Jangkauan komunikasi sejauh 2.000 meter tersebut telah memenuhi kebutuhan operasional Bandar Udara Ranai, mengingat jarak aktual antara Menara ATC dan Unit PKP-PK hanya sekitar 1.000 meter.

4.1.3.2. Keandalan dan Stabilitas Sistem

Pengujian keandalan dilakukan dengan mengirimkan data sebanyak 10 kali percobaan berulang, dan seluruh percobaan berhasil diterima oleh unit penerima sehingga diperoleh tingkat keberhasilan pengiriman sebesar 100% tanpa kehilangan paket data (*packet loss*).

$$\begin{aligned}\text{Persentase Keberhasilan} &= (\text{Jumlah Pengiriman Berhasil} / \text{Jumlah Percobaan}) \times 100\% \\ &= (10/10) \times 100\% = 100\%\end{aligned}$$

Pengujian stabilitas dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara kontinu selama 120 menit pada interval 0, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120 menit. Hasil pengujian membuktikan LED, *buzzer*, dan notifikasi Telegram tetap berfungsi dengan baik pada seluruh interval waktu tersebut tanpa mengalami kegagalan fungsi, kehilangan koneksi, maupun penurunan kinerja, sehingga sistem dinyatakan stabil selama pengoperasian berkelanjutan.

4.2. Pembahasan

Hasil pengujian fungsional menunjukkan semua komponen hardware maupun software, meliputi ESP32, modul LoRa SX1278, push button, *buzzer*, LED, serta integrasi dengan bot Telegram, telah terintegrasi dengan baik dan bekerja sesuai perancangan. Dari aspek kinerja, waktu respons sistem yang berada di bawah 1 detik pada seluruh jarak pengujian membuktikan sistem dapat menginformasikan keadaan darurat secara langsung, sejalan karakteristik LoRa yang dilaporkan mampu mengirimkan data secara *real-time* dengan tingkat keberhasilan tinggi (Kusuma dkk., 2024). Jangkauan komunikasi hingga 2.000 meter juga sejalan dengan temuan bahwa modul LoRa SX1278 pada keadaan *non-line of sight* dapat menjangkau 1-3 km (Fahrezi dkk., 2024).

Dibandingkan dengan penelitian Pradana dkk. (2022) yang merancang *crash bell* berbasis Arduino dan LoRa SX1276 namun belum melakukan pengujian kinerja secara menyeluruh, penelitian ini melengkapi dengan pengujian waktu respons, kualitas sinyal

(RSSI dan SNR), jangkauan komunikasi, keandalan, dan stabilitas sistem, serta menambahkan integrasi notifikasi Telegram sebagai media informasi tambahan. Tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 100% dan kestabilan sistem selama 120 menit pengujian kontinu menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas yang memadai untuk mendukung komunikasi keadaan darurat pada lingkungan operasional bandar udara. Meskipun demikian, pengujian dilakukan pada lokasi pengganti karena keterbatasan akses langsung ke Bandar Udara Ranai selama masa penelitian, sehingga hasil yang diperoleh perlu divalidasi lebih lanjut pada kondisi lapangan yang sebenarnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini berhasil membuat serta menerapkan sistem peringatan dini keadaan darurat berbasis IoT yang menghubungkan Menara ATC dengan Unit PKP-PK di Bandar Udara Ranai menggunakan mikrokontroler ESP32, modul komunikasi LoRa SX1278, dan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi. Hasil uji fungsional mengindikasikan semua fungsi utama sistem beroperasi mengikuti perancangan, sementara hasil uji kinerja membuktikan waktu respons rata-rata 0,66 detik, jangkauan komunikasi hingga 2.000 meter, tingkat keberhasilan pemindahan data sebesar 100%, dan stabilitas operasi yang baik selama pengujian kontinu. Jadi, sistem yang dikembangkan dapat mempercepat penyampaian informasi keadaan darurat, mengurangi risiko miskomunikasi, dan mendukung peningkatan kesiapsiagaan Unit PKP-PK dalam mengatasi situasi darurat di Bandar Udara Ranai.

Kajian selanjutnya disarankan mengembangkan perangkat menjadi bentuk industrial grade dengan enclosure tahan cuaca dan catu daya cadangan, menambahkan mekanisme acknowledgement dari Unit PKP-PK, mengintegrasikan sistem dengan fasilitas operasional bandar udara lainnya, serta melakukan pengujian langsung pada kondisi lapangan di Bandar Udara Ranai dengan mempertimbangkan hambatan bangunan, gangguan cuaca, dan interferensi frekuensi radio untuk memperoleh data kinerja yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dan Unit Elektronika Bandara Kantor UPBU Ranai atas dukungan fasilitas dan kerja sama selama penelitian ini dilaksanakan. Artikel ini disusun berdasarkan Tugas

Akhir penulis pada Program Studi Diploma IV Teknik Navigasi Udara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

DAFTAR PUSTAKA

- Amane, A. P. O., dkk. (2023). *Internet of Things (IoT) di Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Bagas, P., Alwan, & Aliyu, A. (2020). Pemeliharaan sistem *fire alarm* semi addressable MCFA Honeywell NFS-320 di Instalasi Radiologi RSUP dr. Sardjito. *Laporan Kerja Praktik*, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Bator, R. J., Bryan, A. D., & Schultz, P. W. (2011). Who gives a hoot?: Intercept surveys of litterers and disposers. *Environment and Behavior*, 43(3), 295-315. <https://doi.org/10.1177/0013916509356884>
- Bustomi, M. A. Y., & Asmunin. (2021). Rancang bangun sistem monitoring peringatan dini bencana banjir berbasis IoT menggunakan protokol MQTT dengan notifikasi bot Telegram. *Jurnal Manajemen Informatika*, 1-13.
- Dewangga, D. D., & Moonlight, L. S. (2019). Rancang bangun prototype kontrol dan monitoring automatic transfer switch (ATS) pada PLN dan solar sel berbasis programmable logic controller (PLC). *Prosiding SNITP*, 1-7.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan. (2022). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor 30 Tahun 2022 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual Standar CASR Part 139) Volume IV Pelayanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran*.
- Faizah, F., Suwito, S., Moonlight, L. S., & Primadi, R. E. (2021). Pengendalian dan pemantauan pemakaian energi listrik menggunakan teknologi bluetooth. *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya*, 6(2), 151-158. <https://doi.org/10.46491/jp.v6i2.558>
- Fahrezi, F. M., Sulaiman, M. A., & Toni, T. (2024). Analisis pengaruh parameter fisik terhadap jarak jangkauan dan keandalan data LoRa SX1276. *Jurnal Resistor (Rekayasa Sistem Komputer)*, 7(3), 138-143. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v7i3.1666>
- Fahrudin, A. F., Adiarta, A., & Santiyadnya, N. (2022). Pengembangan media pembelajaran pengaplikasian Arduino sebagai media pengenalan dan pengukuran Arduino. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 11(1), 24-35.
- Hakiki, A. N. I. R., Marpaung, J., Yacoub, R. R., Imansyah, F., & Suryadi, D. (2024). Sistem monitoring real time salinitas air dengan menggunakan teknologi LoRa (Long Range) gateway. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*.
- Imran, A., Rasul, M., & Muliadi. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 2721-9100.

- Kusuma, H. A., Hanafi, M. F., Suhendra, T., & Oktaviani, N. (2024). Testing the range and analysis of WSN LoRa SX1278 parameters in coastal areas. *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 10(2), 168-177. <https://doi.org/10.15575/telka.v10n2.168-177>
- Mahfudi, I., dkk. (2026). Analisis dan optimasi kinerja transmisi LoRa SX1278 RA-02 untuk sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, 10(1). <https://doi.org/10.30595/jrst.v10i1.28610>
- Prasojo, D. D., & Ayuni, S. D. (2025). Pet tracking system using Telegram notification. *Journal of Electrical, Electronic, Instrumentation, and Control Engineering*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.33650/jecom.v4i2>
- Pradana, I. Z. L., Pambudiyatno, N., & Moonlight, L. S. (2022). Rancangan crash bell atau fire alarm dari tower ke unit PKP-PK berbasis Arduino dan LoRa SX1276 wireless. *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)*, 6(1), 1-5.
- Sari, V. N., Zulkifli, & Antony, F. (2023). Rancang bangun sistem pendeteksi kebakaran berbasis IoT dan SMS gateway menggunakan Arduino. *Jurnal Intelligent Networks IoT Global (JINIG)*, 1(1), 9-19. <https://doi.org/10.36982/jinig.v1i1.3077>
- Satria, B. (2025). Adaptive control system design based on LoRa SX1278 for wireless sensor network monitoring. *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences*, 6(1), 287-298.
- Sulthanah, N. T. (2023). *Analisis komunikasi LoRa dengan protokol MQTT berbasis bot Telegram pada sistem keamanan sepeda motor*.
- Taufik, I. (2025). *Buku referensi Internet of Things untuk pengembangan smart industry dan kota pintar*. Media Penerbit Indonesia.
- Tologo, L. A. P. (2011). *Studi instalasi fire alarm Kampus Teknik Gowa*.
- UU No. 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia*, 2(1), 1-8.
- Wasista, S., Setiawardhana, S., Saraswati, D. A., & Susanto, E. (2020). *Aplikasi Internet of Things (IoT) dengan Arduino dan Android: Membangun smart home dan smart robot berbasis Arduino dan Android*. Deepublish.
- Wibowo, A. (2023). *Proyek praktis Arduino untuk IoT (Internet of Things)*. Sekolah Tinggi Elektronika dan Komputer (STEKOM).