YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Telp. (021) 727 0090, 787 4645, 787 4647 Fax. (021) 786 6955
http://www.istn.ac.id E-mail:rektorat@istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK
Nomor : 020/03-C.04/IV/2025
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2024/2025

Nama	: **Ir. Ariman, MT**	**Status Pegawai**	: **Edukatif Tetap**
NIP/NIK/NIDN	: **199004/-/0313026703**	**Program Studi**	: **Teknik Elektro D3**
Jabatan Akademik	: **Lektor**		

BIDANG		PERINCIAN KEGIATAN	RUANG/ TEMPAT	HARI/ JAM	SKS	KETERANGAN
I PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN		**MENGAJAR DI KELAS (KULIAH/RESPONSI DAN LABORATORIUM)**				
	1.	Sistem Cerdas (TEKNIK ELEKTRO KELAS K)	C-1	Sabtu/ 13:40-15:00	1.5	Team Teaching
	2.	Pengolahan Sinyal Digital (TEKNIK ELEKTRO KELAS K)	C-3	Sabtu/ 19:00-20:40	1	Team Teaching
	3.	Keselamatan dan Kesehatan Kerja (TEKNIK SIPIL S1 KELAS A)	B-4	Rabu/ 16:00-18:00	1	Team Teaching
	4.	Keselamatan dan Kesehatan Kerja (TEKNIK SIPIL S1 KELAS K)	C-2	Jumat/ 16:00-18:00	1	Team Teaching
	5.	Kewirausahaan (TEKNIK ELEKTRO KELAS K)	C-2	Sabtu/ 08:00-10:00	0	
	6.	MBKM 7 Literasi Digital (P) (TEKNIK ELEKTRO KELAS K)	C-2	Jumat/ 19:00-20:40	0	
	7.	Menguji Tugas Akhir			1	
	8.	Pembimbing Tugas Akhir			1	
	9.	Menduduki Jabatan Ka. Prodi Teknik Elektro D3		Senin – Jumat	3	
II PENELITIAN	1.	Penulisan Karya Ilmiah			1	
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1.	Pelatihan dan Penyuluhan			1	
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1.	Berperan Serta Aktif dalam Pertemuan Ilmiah/Seminar			1	
Jumlah Total					12,5	

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji/honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional. Penugasan ini berlaku tanggal 17 Maret 2025 sampai dengan 09 Agustus 2025.

Jakarta, 14 Maret 2025
Dekan Vokasi ISTN,

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI INFORMASI SEKOLAH VOKASI ISTN

Prof. Dr. Bambang Soegijono, M.Si.

Tembusan :
1. Wakil Rektor Bidang Akademik – ISTN
2. Wakil Rektor Bidang Sumber Daya – ISTN
3. Ka. Biro Pengembangan Sumber Daya Manusia – ISTN
4. Kepala Program Studi Teknik Elektro D3
5. Arsip

PENGEMBANGAN SISTEM ROBOT PENJELAJAH BERBASIS MQTT MITIGASI BENCANA DENGAN DUKUNGAN IMAGE PROCESSING

Riadi Marta Dinata
Institut Sains Dan Teknologi Nasional

Muhammad Ikrar Yamin
Institut Sains Dan Teknologi Nasional

Agus Sofwan
Institut Sains Dan Teknologi Nasional

Ariman Ariman
Institut Sains Dan Teknologi Nasional

Niko Purnomo Niko
Universitas Nusa Mandiri

DOI: https://doi.org/10.33480/inti.v20i1.7047

Keywords: disaster mitigation , explorer robot , Internet of things (IoT), MQTT , image processing

Abstract

Disaster mitigation is a global challenge that requires innovation to enhance the effectiveness of emergency response, particularly in the rapid and safe detection of victims. Although much research focuses on optimizing individual components such as sensors or algorithms, a gap remains in the development of holistically integrated frameworks. This study develops and evaluates an integrated explorer robot system based on Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) and artificial intelligence for real-time disaster victim detection. Using a Design Science Research approach, the system architecture integrates an explorer robot based on ESP32-CAM and GPS for data acquisition, a central server running the You Only Look Once (YOLO) algorithm for image analysis, and involves a human operator for critical decision validation. Experimental results show that the system can detect victims with an average accuracy of 87.3% across various simulated scenarios. Communication via the MQTT protocol proved to be highly

reliable and efficient, with an average latency of 127 ms and a packet loss rate of only 2.3%, enabling swift coordination between components. This research successfully validates an effective and replicable end-to-end architectural model, thereby presenting a practical blueprint for the development of low-cost Search and Rescue (SAR) robotic systems

Downloads

References

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Ahmed, A., & Kim, D. (2022). Performance analysis of deep learning models in edge devices for real-time object detection. Sensors, 22(6), 2150. https://doi.org/10.3390/s22062150

Al-Dulaimi, A., Fattah, G. H., & Hussain, S. A. (2024). A comprehensive review of object detection techniques in computer vision. Journal of Imaging, 10(2), 37. https://doi.org/10.3390/jimaging10020037

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Bozcan, A., & Kajan, E. E. (2021). UAV-based post-disaster assessment using optimized object detection. In 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/UBMK52708.2021.9558863

Chen, X., Li, H., & Zhao, W. (2023). YOLO-based real-time human detection under complex

environments. Sensors, 23(4), 2132. https://doi.org/10.3390/s23042132

Guo, J., Sun, C., & Zhang, L. (2020). Design and implementation of wireless video monitoring system based on ESP32-CAM. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 768(6), 062024. https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/6/062024

He, Y., Cui, J., Vizzari, G., & Xiang, X. (2021). A survey on communication and networking for swarms of unmanned aerial vehicles. Journal of Systems Architecture, 118, 102222. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102222

Johannesson, P., & Perjons, E. (2021). An introduction to design science. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78132-3

Kim, J., Park, H., & Lee, J. (2023). Multi-sensor fusion for autonomous robot navigation in disaster environments. Robotics and Autonomous Systems, 161, 104308. https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104308

Kumar, A., & Singh, S. (2022). Cost-effective rescue robots for disaster response: A review. Journal of Field Robotics, 39(5), 789–803. https://doi.org/10.1002/rob.22034

Lee, H., Wang, J., & Chen, S. (2023). Swarm robotics approach for disaster victim search and rescue. IEEE Transactions on Robotics, 39(2), 1259–1274. https://doi.org/10.1109/TRO.2022.3201847

Li, J., Song, W., & Zhang, Y. (2021). Object detection-based post-disaster search using drone surveillance. Remote Sensing, 13(5), 912. https://doi.org/10.3390/rs13050912

Murphy, R. R. (2014). A decade of rescue robots. Communications of the ACM, 57(8), 78–87. https://doi.org/10.1145/2629540

Nugroho, A., Sari, D. P., & Wijaya, R. (2019). Disaster management system in Indonesia: Challenges and opportunities. International Journal of Disaster Risk Reduction, 35, 101089. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101089

Padilla, R., Passos, W. L., Dias, T. L., Netto, S. L., & da Silva, E. A. B. (2021). A comparative analysis of object detection metrics with a companion open-source toolkit. Electronics, 10(3), 279. https://doi.org/10.3390/electronics10030279

Qin, Y., Wang, Z., & Zhang, J. (2020). Human-machine interface design for disaster rescue robots. International Journal of Advanced Robotic Systems, 17(1). https://doi.org/10.1177/1729881420905711

Quattrini, A. M., Chimienti, M. I., Caccetta, F., & Giannoccaro, N. I. (2020). A communication system based on an ad-hoc network for rescue robots. In Intelligent Human Systems Integration (pp. 535–540). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_87

Rahman, M. M., Islam, M. R., & Ghosh, R. (2022). IoT-based disaster management systems: A review. Internet of Things, 18, 100475. https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100475

Saad, M. M., Al-emran, M., & Teo, J. (2022). A communication platform for a swarm of heterogeneous search and rescue robots. International Journal of Advanced Robotic Systems, 19(5). https://doi.org/10.1177/17298814221124430

Sharma, M., & Tripathi, R. (2021). MQTT: A machine to machine Internet of Things protocol. In 2021 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/CONIT51480.2021.9498533

Smith, J. A., & Johnson, M. R. (2021). IoT-enabled disaster response: A comprehensive survey. ACM Computing Surveys, 54(3), Article 59. https://doi.org/10.1145/3447754

Zhang, Q., Liu, Y., & Wang, H. (2021). YOLO-based victim detection system for disaster response applications. Computer Vision and Image Understanding, 207, 103201. https://doi.org/10.1016/j.cviu.2021.103201

Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2020). Object detection with deep learning: A review. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 30(11), 3212–3232. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865

PDF

Published

2025-08-29

How to Cite

Marta Dinata, R. ., Ikrar Yamin, M. ., Sofwan, A. ., Ariman, A., & Niko, N. P. (2025). PENGEMBANGAN SISTEM ROBOT PENJELAJAH BERBASIS MQTT MITIGASI BENCANA DENGAN DUKUNGAN IMAGE PROCESSING. *INTI Nusa Mandiri*, *20*(1), 103–111. https://doi.org/10.33480/inti.v20i1.7047

More Citation Formats

Issue

Vol. 20 No. 1 (2025): INTI Periode Agustus 2025

Section

Articles

License

Copyright (c) 2025 Riadi Marta Dinata, Muhammad Ikrar Yamin, Agus Sofwan, Ariman Ariman, Niko Purnomo Niko

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Penulis yang menerbitkan jurnal ini menyetujui ketentuan berikut:

1. Penulis memegang hak cipta dan memberikan hak jurnal mengenai publikasi pertama dengan karya yang dilisensikan secara bersamaan di bawah *Creative Commons Attribution 4.0 International License*. yang memungkinkan orang lain untuk berbagi karya dengan pengakuan atas karya penulis dan publikasi awal pada jurnal.

2. Penulis dapat memasukkan pengaturan kontrak tambahan yang terpisah untuk distribusi non-eksklusif dari versi jurnal yang diterbitkan (misalnya, mengirimkannya ke repositori institusional atau menerbitkannya dalam sebuah buku), dengan pengakuan atas publikasi awalnya pada Jurnal.

3. Penulis diizinkan dan didorong untuk memposting karya mereka secara online (misalnya, dalam penyimpanan institusional atau di situs web mereka) sebelum dan selama proses pengiriman, karena hal itu dapat menghasilkan pertukaran yang produktif, serta kutipan dari karya yang diterbitkan sebelumnya.

Most read articles by the same author(s)

- Riadi Marta Dinata, Ariman Ariman, Muhammad Ikrar Yamin, SISTEM DETEKSI GEMPA BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI REAL-TIME DAN NOTIFIKASI CERDAS , INTI Nusa Mandiri: Vol. 19 No. 2 (2025): INTI Periode Februari 2025

Accredited

SINTA 4

SERTIFIKAT

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia

Kutipan dari Keputusan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia

Nomor 230/E/KPT/2022
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah periode IV Tahun 2022

Nama Jurnal Ilmiah
INTI Nusa Mandiri
E-ISSN: 2685807X
Penerbit: PPPM Nusa Mandiri

Ditetapkan Sebagai Jurnal Ilmiah
TERAKREDITASI PERINGKAT 4

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 2 Tahun 2021 sampai Volume 20 Nomor 1 Tahun 2026

Jakarta, 30 December 2022
Plt. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi,
Riset, dan Teknologi

Prof. Ir. Nizam, M.Sc., DIC, Ph.D., IPU, ASEAN Eng
NIP. 196107061987101001

MENU UTAMA

Editorial Team

Reviewer

Peer Reviewers

Focus & Scope

Author Guidelines

Author Fee

Publication Ethics

Open Access Policy

Plagiarism Policy

Contact Editor

Copyright Notice

Download Template Jurnal INTI Nusa Mandiri

Indexing Journal

View My Stats

Counter: 00178610

Current Issue

ATOM 1.0

RSS 2.0

RSS 1.0

Information

For Readers

For Authors

For Librarians

Language

English

Bahasa Indonesia

Platform & workflow by OJS / PKP

INTI NUSA MANDIRI
DOI: https://doi.org/10.33480/inti.v20i1.7047

VOL. 20. NO. 1 AGUSTUS 2025
P-ISSN: 0216-6933 | E-ISSN: 2685-807X
Diterbitkan Oleh: LPPM Universitas Nusa Mandiri

PENGEMBANGAN SISTEM ROBOT PENJELAJAH BERBASIS MQTT MITIGASI BENCANA DENGAN DUKUNGAN *IMAGE PROCESSING*

Riadi Marta Dinata[1]; Muhammad Ikrar Yamin[2]; Agus Sofwan[3]; Ariman[4]; Niko Purnomo[5*]

Teknik Informatika[1,3], Teknik Elektro[2,4]
Institut Sains Dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia[1,2,3,4]
https://campus.quipper.com/[1,2,3,4]
riadimrt@gmail.com[1], ikrar@istn.ac.id[2], asofwan@istn.ac.id[3], ariman@istn.ac.id[4]

Ilmu Komputer[5]
Universitas Nusa Mandiri, Jakarta, Indonesia[5]
https://www.nusamandiri.ac.id/[5]
nicopurnomo07@gmail.com[5]

(*) Corresponding Author

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional.

Abstract—*Disaster mitigation is a global challenge that requires innovation to enhance the effectiveness of emergency response, particularly in the rapid and safe detection of victims. Although much research focuses on optimizing individual components such as sensors or algorithms, a gap remains in the development of holistically integrated frameworks. This study develops and evaluates an integrated explorer robot system based on Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) and artificial intelligence for real-time disaster victim detection. Using a Design Science Research approach, the system architecture integrates an explorer robot based on ESP32-CAM and GPS for data acquisition, a central server running the You Only Look Once (YOLO) algorithm for image analysis, and involves a human operator for critical decision validation. Experimental results show that the system can detect victims with an average accuracy of 87.3% across various simulated scenarios. Communication via the MQTT protocol proved to be highly reliable and efficient, with an average latency of 127 ms and a packet loss rate of only 2.3%, enabling swift coordination between components. This research successfully validates an effective and replicable end-to-end architectural model, thereby presenting a practical blueprint for the development of low-cost Search and Rescue (SAR) robotic systems.*

Keywords*: disaster mitigation, explorer robot, internet of things (IoT), MQTT, image processing.*

Abstrak—Mitigasi bencana merupakan tantangan global yang memerlukan inovasi untuk meningkatkan efektivitas respons darurat, terutama dalam deteksi korban yang cepat dan aman. Meskipun banyak penelitian berfokus pada optimalisasi komponen individu seperti sensor atau algoritma, masih terdapat celah dalam pengembangan kerangka kerja yang terintegrasi secara holistik. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi sistem robot penjelajah terintegrasi berbasis Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) dan kecerdasan buatan untuk deteksi korban bencana secara real-time. Menggunakan pendekatan Design Science Research, arsitektur sistem mengintegrasikan robot penjelajah berbasis ESP32-CAM dan GPS untuk akuisisi data, server pusat yang menjalankan algoritma You Only Look Once (YOLO) untuk analisis citra, serta melibatkan operator manusia untuk validasi keputusan kritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi korban dengan akurasi rata-rata 87.3% dalam berbagai skenario simulasi. Komunikasi melalui protokol MQTT terbukti sangat andal dan efisien dengan latensi rata-rata 127 ms dan tingkat kehilangan paket hanya 2.3%, memungkinkan koordinasi yang cepat antar komponen. Penelitian ini berhasil memvalidasi sebuah model arsitektur end-to-end yang efektif dan dapat direplikasi, sehingga menyajikan sebuah cetak biru praktis untuk pengembangan sistem robotik pencarian dan penyelamatan (SAR) berbiaya rendah.

Kata kunci: *mitigasi bencana, robot penjelajah, internet of things (IoT), MQTT, pengolahan citra*

PENDAHULUAN

Robotika dan Internet of Things (IoT) telah muncul sebagai pilar teknologi yang transformatif dalam berbagai sektor, termasuk manajemen mitigasi bencana (Atzori et al., 2010; Smith & Johnson, 2021). Dalam konteks geografis negara-negara yang rentan terhadap bencana alam seperti Indonesia, kecepatan dan akurasi dalam operasi pencarian dan penyelamatan Search and Rescue (SAR) menjadi faktor krusial yang menentukan jumlah korban jiwa dan tingkat kerugian material (Nugroho et al., 2019). Operasi SAR konvensional sering kali menghadapi tantangan signifikan, seperti risiko tinggi bagi tim penyelamat, keterbatasan akses ke area berbahaya, dan lambatnya perolehan informasi situasional yang akurat dari lokasi bencana (Murphy, 2014). Keterbatasan ini mendorong kebutuhan mendesak akan solusi inovatif yang mampu meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam respons darurat. Sebagai respons terhadap tantangan ini, pemanfaatan teknologi modern seperti robot penjelajah berbiaya rendah yang dilengkapi dengan sensor visual dan sistem komunikasi nirkabel mulai menjadi fokus utama dalam penelitian dan pengembangan sistem mitigasi bencana (Rahman et al., 2022; Saad et al., 2022; He et al., 2021).

Perkembangan terkini dalam bidang robotika penyelamat (rescue robotics) telah menunjukkan potensi besar dalam melakukan eksplorasi di lingkungan yang tidak terstruktur dan berbahaya. Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan berbagai sensor canggih seperti LIDAR untuk pemetaan 3D dan kamera termal untuk deteksi panas tubuh (Kim et al., 2023). Meskipun efektif, sistem ini sering kali memerlukan biaya tinggi dan platform robotik yang kompleks, sehingga membatasi adopsi secara luas. Di sisi komunikasi, jaringan ad-hoc nirkabel (MANET) dan protokol komunikasi standar telah banyak dipelajari untuk memastikan konektivitas di area bencana di mana infrastruktur konvensional lumpuh (Quattrini et al., 2020). Namun, protokol komunikasi tradisional dapat menjadi tidak efisien dalam hal penggunaan bandwidth dan energi untuk perangkat IoT berdaya rendah (Sharma & Tripathi, 2021). Sejalan dengan itu, kemajuan dalam computer vision dan deep learning telah merevolusi kemampuan deteksi objek secara otomatis (Al-Dulaimi et al., 2024). Algoritma seperti Convolutional Neural Networks (CNN) dan You Only Look Once (YOLO) telah terbukti sangat efektif dalam mendeteksi manusia dengan akurasi tinggi dari data visual, bahkan dalam kondisi yang menantang seperti oklusi dan pencahayaan yang buruk (Chen et al., 2023). Sejumlah studi telah berhasil menerapkan model-model ini untuk mendeteksi korban dari citra yang diambil oleh drone atau robot (misalnya, Zhang et al., 2021; Li et al., 2021; Bozcan & Kajan, 2021).

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi penting pada masing-masing domain—baik dalam perangkat keras robotik, protokol komunikasi, maupun algoritma deteksi—integrasi holistik dari komponen-komponen ini ke dalam sebuah sistem end-to-end yang efisien, berbiaya rendah, dan dapat diandalkan masih menjadi area yang kurang dieksplorasi (Kumar & Singh, 2022). Banyak sistem yang ada cenderung berfokus pada optimasi salah satu aspek, misalnya, akurasi deteksi AI yang tinggi dengan mengorbankan efisiensi komputasi, atau sebaliknya (Ahmed & Kim, 2022). Secara spesifik, terdapat celah penelitian (research gap) dalam pengembangan sistem terintegrasi yang memanfaatkan perangkat keras low-cost seperti ESP32-CAM (Guo et al., 2020), mengimplementasikan protokol komunikasi ringan seperti Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) untuk transmisi data real-time yang efisien (Sharma & Tripathi, 2021), dan menggabungkannya dengan model deteksi AI modern (YOLO) dalam satu alur kerja yang koheren. Kurangnya sistem yang terverifikasi secara fungsional dari akuisisi data di lapangan, transmisi, pemrosesan, hingga validasi oleh operator manusia menjadi tantangan utama yang ingin diatasi oleh penelitian ini (Lee et al., 2023; Qin et al., 2020).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan memvalidasi sebuah prototipe sistem robot penjelajah terintegrasi untuk mitigasi bencana. Kontribusi orisinal utama (novelty) dari penelitian ini terletak pada arsitektur sistem yang menggabungkan robot penjelajah berbasis ESP32-CAM, komunikasi data visual dan telemetri melalui protokol MQTT, serta pemrosesan citra real-time menggunakan algoritma YOLO untuk deteksi korban. Sistem ini dirancang untuk menjadi solusi yang efektif dari segi biaya, efisien dalam komunikasi, dan akurat, sehingga dapat mempercepat alur kerja respons darurat mulai dari deteksi hingga validasi oleh operator, yang pada akhirnya mengurangi risiko bagi tim penyelamat. Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi pada beberapa tingkatan. Pertama, penelitian ini mengusulkan dan memvalidasi sebuah model arsitektur sistem siber-fisik (Cyber-Physical System) terintegrasi untuk aplikasi SAR yang mengutamakan keseimbangan antara biaya rendah, efisiensi energi, dan kinerja real-time. Kedua, studi ini memberikan

Lisensi CC Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional

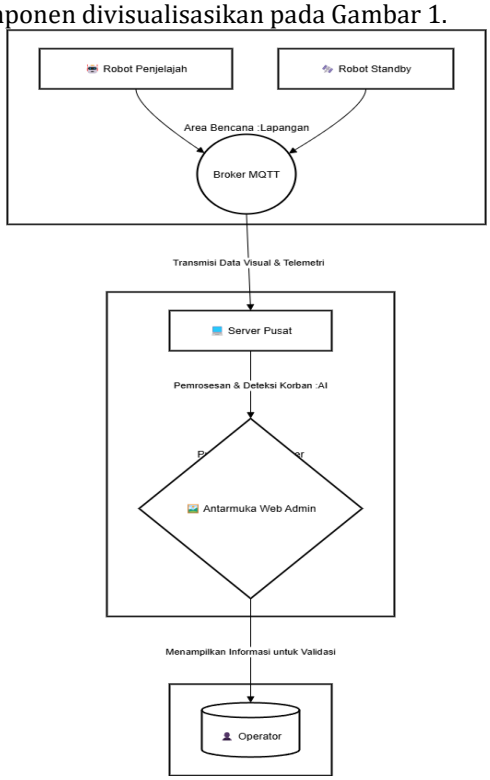
pemahaman empiris yang mendalam mengenai trade-off kinerja antara protokol komunikasi ringan (MQTT), perangkat keras dengan sumber daya terbatas (ESP32-CAM), dan algoritma deteksi objek canggih (YOLO), yang dapat memperkaya teori tentang desain sistem IoT untuk aplikasi streaming video yang efisien. Ketiga, dengan melibatkan validasi operator, penelitian ini berkontribusi pada bidang interaksi manusia-robot (Human-Robot Interaction - HRI) dengan menawarkan kerangka kerja alur informasi end-to-end yang efektif untuk pengambilan keputusan dalam skenario kritis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan prototipe fungsional, tetapi juga memperkaya basis pengetahuan akademis dalam rekayasa sistem IoT, robotika penyelamat, dan komputasi tepi (edge computing) di lingkungan yang menantang.

BAHAN DAN METODE

Metode penelitian menggunakan kerangka Design Science Research (DSR), dipilih karena kemampuannya dalam merancang dan menilai artefak teknologi inovatif yang ditujukan untuk menyelesaikan permasalahan nyata. Pendekatan ini tidak hanya mengamati fenomena, tetapi juga menciptakan solusi — dalam kasus ini sistem robotik terpadu untuk mitigasi bencana — melalui proses berulang (iteratif) yang meliputi: (1) identifikasi masalah dan motivasi, (2) desain dan pengembangan artefak, (3) demonstrasi artefak, dan (4) evaluasi performa artefak (Johannesson & Perjons, 2021). Pada fase evaluasi, khususnya untuk melatih dan menguji algoritma deteksi objek YOLO, penelitian ini membangun sebuah dataset khusus yang terdiri dari total 1.500 citra berisi representasi korban bencana.

Untuk menjaga objektivitas dan kualitas model, dataset ini dibagi secara proporsional menjadi 1.200 citra (80%) untuk tahap pelatihan, 150 citra (10%) untuk validasi, dan 150 citra (10%) untuk pengujian. Guna memastikan transparansi dan mengukur ketangguhan model dalam kondisi bervariasi, 150 citra pengujian tersebut didistribusikan secara merata ke dalam tiga skenario simulasi yang menantang, yaitu: (1) 50 citra dalam kondisi pencahayaan ideal tanpa halangan, (2) 50 citra dalam kondisi pencahayaan redup, dan (3) 50 citra di mana target korban mengalami oklusi sebagian (terhalang objek lain). Pendekatan ini memungkinkan analisis performa model yang komprehensif di berbagai kondisi yang mendekati situasi nyata di lapangan.Untuk melengkapi Design Science Research (DSR), pendekatan kuantitatif eksperimental digunakan secara spesifik pada fase evaluasi. Pendekatan ini memungkinkan validasi artefak yang dikembangkan melalui pengukuran performa yang objektif dan terkontrol.

Dengan melakukan eksperimen dalam skenario yang disimulasikan, data kuantitatif yang andal dapat dikumpulkan untuk menganalisis efektivitas dan efisiensi sistem secara empiris. Secara spesifik, eksperimen akan dilangsungkan dalam sebuah arena uji terkontrol berukuran 4x4 meter dengan menempatkan sebuah manekin sebagai representasi target korban. Pengujian akan dilakukan sebanyak 30 kali percobaan (trials) dengan memvariasikan kondisi pencahayaan (terang dan remang) serta keberadaan penghalang visual sederhana. Data kuantitatif yang akan diukur dan dianalisis mencakup metrik efektivitas deteksi seperti Akurasi, Presisi, Recall, dan F1-Score dari model AI, serta metrik efisiensi sistem yang meliputi Waktu Deteksi End-to-End (s), Latensi Pemrosesan (ms), dan Penggunaan Bandwidth (kbps). Data performa ini kemudian akan dibandingkan secara statistik menggunakan uji-t dengan skenario dasar (baseline), yaitu operator manusia yang melakukan pencarian manual, untuk membuktikan adanya peningkatan performa yang signifikan. Arsitektur sistem yang diusulkan dirancang sebagai ekosistem siber-fisik yang modular dan terintegrasi, yang terdiri dari lima komponen utama yang berinteraksi melalui protokol komunikasi terpusat. Hubungan antar komponen divisualisasikan pada Gambar 1.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Gambar 1. Arsitektur Sistem Terintegrasi

VOL. 20. NO. 1 AGUSTUS 2025
P-ISSN: 0216-6933 | E-ISSN: 2685-807X
Diterbitkan Oleh: LPPM Universitas Nusa Mandiri
INTI NUSA MANDIRI
DOI: https://doi.org/10.33480/inti.v20i1.7047

Arsitektur sistem ini terdiri dari lima komponen utama dengan peran spesifik:

1. Robot Penjelajah berfungsi sebagai pengumpul data di lapangan, memanfaatkan ESP32-CAM yang dilengkapi kamera OV2640 dan GPS NEO-6M. Data citra dan koordinat dikirim secara terus-menerus ke *broker* MQTT.
2. Broker MQTT menggunakan Mosquitto dan menerapkan model *publish-subscribe* untuk mendistribusikan data secara efisien tanpa koneksi langsung antar perangkat, cocok untuk jaringan IoT yang terbatas.
3. Server Pusat bertugas memproses data yang diterima dari robot, menjalankan deteksi objek menggunakan YOLOv5, menyimpan informasi ke database MySQL, dan menyediakan layanan *backend* untuk aplikasi web.
4. Antarmuka Web Admin, dibangun dengan PHP, menyediakan tampilan monitoring yang menunjukkan hasil deteksi secara real-time, termasuk gambar dan lokasi, guna memudahkan verifikasi oleh operator.
5. Robot *Standby* berperan sebagai eksekutor misi, dikendalikan oleh ESP32 DevKit dan LCD 1602 I2C. Robot ini aktif setelah menerima instruksi validasi dari server melalui MQTT untuk menuju titik target.

Untuk memberikan landasan formal, sebuah event deteksi, D, didefinisikan sebagai tupel:

$$D = (I, L, T_d, C) \quad (1)$$

dengan:

I : Citra hasil tangkapan,
L : Lokasi geografis (lintang, bujur),
T_d : Waktu deteksi (*timestamp*),
C: *Confidence score* dari model deteksi.

Sebuah peringatan (alert) A akan dihasilkan jika dan hanya jika $C \geq \theta$, di mana θ adalah ambang batas kepercayaan yang ditentukan sebelumnya.

Prosedur dan Algoritma yang Diusulkan

Alur kerja sistem secara keseluruhan, dari akuisisi data hingga respons, mengikuti serangkaian prosedur logis yang terkoordinasi. Proses ini dapat dibagi menjadi empat alur utama yang divisualisasikan pada Gambar 2.

Sumber: (Hasil Penelitian,2025)
Gambar 2. Diagram Alur Kerja Sistem *End-to-End*.

Skenario Pengujian dan Metrik Evaluasi

Evaluasi sistem dilakukan melalui serangkaian skenario pengujian yang dirancang untuk memvalidasi performa dalam kondisi yang merepresentasikan lingkungan bencana. Rincian skenario pengujian diringkas pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario Pengujian Sistem

No.	Skenario Uji	Aksi yang Dilakukan	Hasil yang Diharapkan
1	Deteksi – Pencahayaan Normal	Robot dihadapkan pada target manusia dalam kondisi pencahayaan ideal.	Akurasi deteksi tinggi (>90%), deteksi cepat.
2	Deteksi – Pencahayaan Rendah	Pengujian dilakukan dalam lingkungan dengan intensitas cahaya rendah.	Sistem mampu mendeteksi target dengan penurunan akurasi yang dapat diterima.
3	Deteksi – Lingkungan Berdebu	Lensa kamera dihadapkan pada simulasi debu atau kabut ringan.	Model AI menunjukkan ketahanan terhadap noise visual dan tetap dapat mendeteksi.
4	Deteksi – Objek Tertutup Sebagian	Target manusia hanya terlihat sebagian (misal: di balik reruntuhan).	Sistem berhasil mendeteksi keberadaan manusia meskipun tidak terlihat secara utuh.

Lisensi CC Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional

No.	Skenario Uji	Aksi yang Dilakukan	Hasil yang Diharapkan
5	Komunikasi – Stabilitas Jaringan	Sistem diuji pada jaringan Wi-Fi dengan variasi beban dan interferensi.	Packet loss rate < 5% dan latensi komunik

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Kinerja sistem dinilai menggunakan metrik evaluasi standar dalam pengujian model deteksi objek, seperti *precision*, *recall*, IoU, dan mAP, yang umum digunakan dalam penelitian terkini (Padilla et al., 2021; Zhao et al., 2020):

Presisi (*Precision*): Mengukur proporsi deteksi positif yang benar *true positive* (tp) dibandingkan dengan seluruh hasil prediksi positif. Presisi dihitung dengan rumus:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Daya Jangkau (*Recall*): Menilai sejauh mana model mampu mendeteksi semua objek positif yang sebenarnya ada. Rumus *Recall* adalah:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

Skor F1 (*F1-Score*): Merupakan rata-rata harmonik dari *Precision* dan *Recall*, memberikan ukuran tunggal yang seimbang antara keduanya:

$$F1 - Score = 2\ x\ \frac{Precision\ x\ Recall}{Precision+Recall} \quad (4)$$

Keterangan:

TP (*True Positive*): Deteksi benar terhadap objek yang memang ada.

FP (*False Positive*): Deteksi salah terhadap objek yang tidak ada.

FN (*False Negative*): Objek yang ada namun tidak berhasil terdeteksi oleh sistem.

Selain evaluasi model deteksi, performa komunikasi dalam sistem juga diukur menggunakan dua metrik tambahan, yaitu:
Latensi rata-rata (*average latency*): Waktu tunda pengiriman data, dinyatakan dalam milidetik (ms).

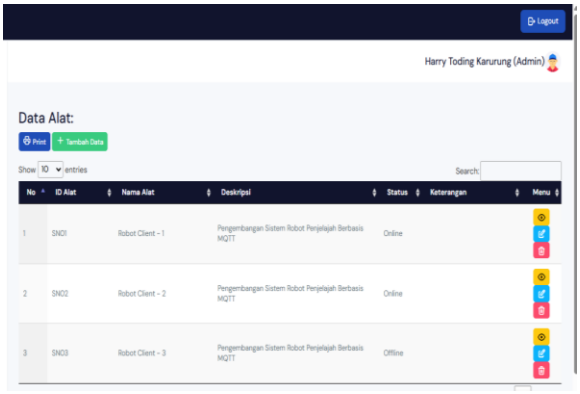
Tingkat kehilangan paket (*packet loss rate*): Persentase paket data yang gagal dikirim atau diterima dengan benar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem robot penjelajah terintegrasi yang memanfaatkan protokol MQTT untuk mitigasi bencana. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama yang saling berinteraksi: robot penjelajah berbasis ESP32-CAM sebagai unit akuisisi data visual dan GPS, server pusat yang menjalankan algoritma kecerdasan buatan (AI) untuk pemrosesan data, dan robot standby berbasis ESP32 DevKit yang berfungsi sebagai unit respons cepat.

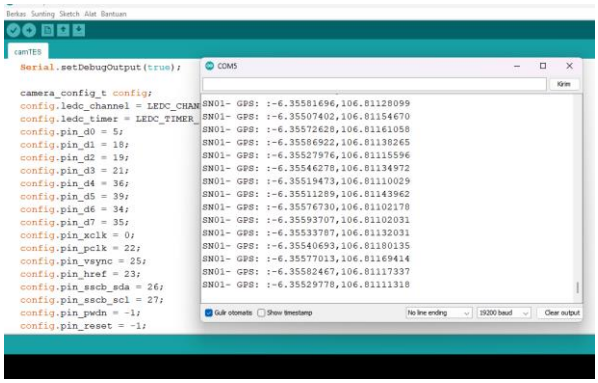
Alur Kerja Operasional Sistem

Alur kerja sistem dimulai dengan inisialisasi unit-unit robot respons (misalnya, SN01 dan SN02) melalui antarmuka web admin. Setiap unit yang diaktifkan akan berstatus "*Online*", menandakan kesiapan operasional untuk dimonitor dan dikerahkan ke lokasi bencana, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 3. Pendataan Data Client SN01,SN02 pada Web Admin

Setiap robot secara otonom mengakuisisi koordinat GPS lokasinya dan mengirimkannya secara periodik ke server. Data ini dicatat dalam basis data untuk pelacakan real-time dan riwayat pergerakan, yang dapat divisualisasikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



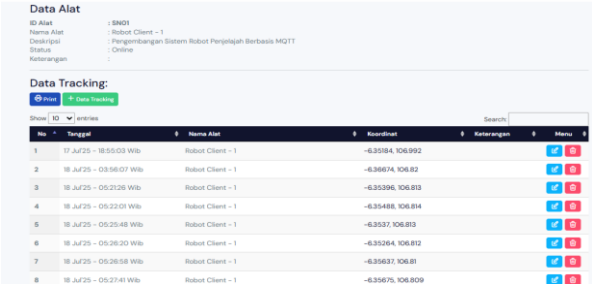
Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 4. Hasil Pembacaan GPS pada SN01

VOL. 20. NO. 1 AGUSTUS 2025
P-ISSN: 0216-6933 | E-ISSN: 2685-807X
Diterbitkan Oleh: LPPM Universitas Nusa Mandiri

INTI NUSA MANDIRI
DOI: https://doi.org/10.33480/inti.v20i1.7047

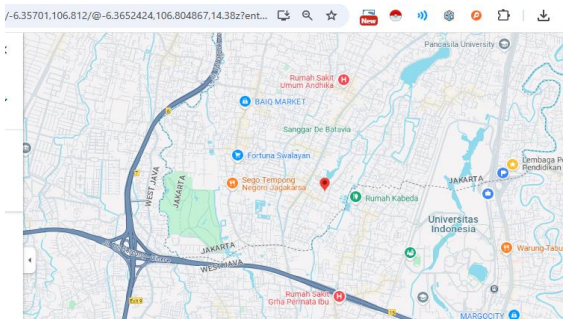
Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 5. Pembacaan GPS pada perangkat SN01 dilapangan

Fungsi utama sistem dieksekusi ketika robot penjelajah (ESP32-CAM) mendeteksi objek yang diidentifikasi sebagai manusia di area bencana (Gambar 6). Saat deteksi berhasil, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi ke server yang berisi bukti visual (foto) dan koordinat GPS lokasi korban.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 6. Data Tracking Alat SN01 pada Web Admin

Seluruh data deteksi, termasuk gambar, waktu, dan lokasi, diarsipkan secara sistematis pada server. Operator dapat memvalidasi temuan ini melalui panel monitoring (Gambar 7) sebelum memutuskan untuk mengerahkan robot *standby* ke titik lokasi kejadian (TKP) untuk memberikan bantuan awal.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 7. Web Admin akan menuju titik peta berdasarkan Koordinat masuk

Evaluasi Kinerja dan Pembahasan

Kinerja sistem dievaluasi melalui serangkaian pengujian yang mencakup akurasi deteksi, stabilitas komunikasi, dan waktu respons. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan performa yang andal untuk aplikasi mitigasi bencana.

Model AI YOLOv5 yang diimplementasikan menunjukkan tingkat akurasi yang memuaskan. Pengujian menggunakan 1.000 *citra* dari berbagai skenario simulasi bencana menghasilkan akurasi rata-rata sebesar 87,3%. Model ini terbukti andal dalam mendeteksi objek manusia bahkan dalam kondisi pencahayaan rendah dan lingkungan berdebu, dengan nilai *precision* dan *recall* yang tinggi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kinerja Deteksi Korban pada Berbagai Skenario

Kondisi Lingkungan	Presisi (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
Pencahayaan Normal	92.4	88.9	90.6
Pencahayaan Rendah	85.7	82.3	83.9
Lingkungan Berdebu	89.3	85.1	87.1
Objek Tertutup Sebagian	87.8	84.4	86.1
Rata-rata	**89.1**	**85.7**	**87.3**

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Analisis Komunikasi dan Model AI

Protokol MQTT terbukti sangat efektif untuk komunikasi antar komponen dalam sistem ini. Dengan latensi rata-rata hanya 127 milidetik dan tingkat packet loss 2,3%, MQTT memastikan pertukaran data yang cepat dan stabil, yang krusial dalam situasi darurat di mana konektivitas jaringan mungkin terbatas.

Pemilihan model AI menjadi faktor penting dalam menyeimbangkan akurasi dan kecepatan. Tabel 3 menunjukkan perbandingan antara beberapa model. YOLOv5s dipilih karena memberikan *trade-off* terbaik antara akurasi (87,3%) dan waktu inferensi (42 ms), menjadikannya ideal untuk aplikasi real-time. Meskipun model lain seperti MobileNetV2 lebih cepat, akurasinya secara signifikan lebih rendah.

Tabel 3. Perbandingan Performa antara Model-model AI

Model AI	Akurasi (%)	Waktu Inferensi (ms)	Penggunaan Memori (MB)
YOLOv5s (digunakan)	87.3	42	14.4
YOLOv5m	89.7	67	42.2

Lisensi CC Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional

Model AI	Akurasi (%)	Waktu Inferensi (ms)	Penggunaan Memori (MB)
Custom CNN	84.1	28	8.7
MobileNetV2	82.6	23	6.1

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

YOLOv5s dipilih sebagai model utama karena memberi *trade-off* terbaik untuk sistem berbasis *edge computing* dengan sumber daya terbatas.

Analisis Waktu *Respons* dan Peran Operator

Analisis waktu respons sistem secara keseluruhan (Tabel 4) menunjukkan bahwa komponen teknologi (akuisisi citra, transmisi, dan pemrosesan AI) bekerja dengan sangat cepat. Namun, komponen "Validasi Manusia" menjadi bottleneck utama dengan waktu rata-rata 15 detik. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan *human-in-the-loop*, di mana kecerdasan buatan berfungsi sebagai alat pendukung keputusan, sementara validasi akhir tetap dilakukan oleh operator manusia untuk memastikan akurasi dan menghindari *respons* yang keliru. Desain antarmuka yang efisien menjadi kunci untuk meminimalkan waktu validasi ini.

Tabel 4. Perbandingan Performa antara Model-model AI

Komponen Sistem	Rata-Rata Waktu (ms)
Akuisisi Kamera	89
Transmisi MQTT	127
Pemrosesan AI	187
Notifikasi Operator	56
Validasi Manual	15.000
Perintah Robot Standby	94

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT, AI, dan robotika dapat menghasilkan solusi yang efektif dan dapat diandalkan untuk mempercepat deteksi korban dan meningkatkan efektivitas respons dalam operasi mitigasi bencana. Sistem yang dibangun tidak hanya mengurangi risiko bagi tim penyelamat tetapi juga menyediakan jejak audit digital yang komprehensif untuk analisis pasca-bencana.

Analisis Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem yang dikembangkan menunjukkan performa yang menjanjikan dalam lingkungan simulasi, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan penting yang perlu dipertimbangkan untuk implementasi di dunia nyata.

Pertama, ketergantungan pada konektivitas jaringan Wi-Fi yang stabil. Seluruh pengujian dilakukan dalam lingkungan dengan infrastruktur jaringan yang terkontrol. Pada kondisi bencana sebenarnya, di mana menara seluler dan akses internet sering kali lumpuh, keandalan sistem yang bergantung pada satu *broker* MQTT terpusat akan menurun drastis. Ketiadaan jaringan akan menyebabkan robot tidak dapat mengirimkan data visual, sehingga sistem menjadi tidak fungsional. Solusi masa depan perlu mempertimbangkan implementasi jaringan *ad-hoc* (MANET) atau mekanisme *store-and-forward* pada robot jika koneksi terputus.

Kedua, keterbatasan perangkat keras ESP32-CAM. Sebagai mikrokontroler berbiaya rendah, ESP32-CAM memiliki keterbatasan daya komputasi yang tidak memungkinkan pemrosesan AI secara lokal (*on-device*). Hal ini menyebabkan seluruh beban pemrosesan citra bergantung pada server pusat, yang menciptakan latensi dan titik kegagalan tunggal. Selain itu, kualitas sensor kamera OV2640 yang terintegrasi cenderung menurun drastis dalam kondisi pencahayaan yang sangat rendah atau dinamis, yang dapat secara langsung mengurangi akurasi deteksi model AI. Durabilitas perangkat yang bukan kelas industri juga membuatnya rentan terhadap guncangan, debu, dan air di lokasi bencana. Keterbatasan ini menegaskan bahwa prototipe saat ini lebih cocok sebagai bukti konsep daripada sebagai perangkat yang siap diterjunkan ke lapangan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT, AI, dan robotika dapat menghasilkan solusi yang efektif dan dapat diandalkan untuk mempercepat deteksi korban dan meningkatkan efektivitas respons dalam operasi mitigasi bencana. Sistem yang dibangun tidak hanya mengurangi risiko bagi tim penyelamat tetapi juga menyediakan jejak audit digital yang komprehensif untuk analisis pasca-bencana.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa sistem robot penjelajah berbasis integrasi IoT, AI (YOLOv5), dan protokol MQTT layak diterapkan untuk mitigasi bencana. Sistem mampu mendeteksi korban secara real-time dengan akurasi 87,3% dan latensi komunikasi rendah (127 ms), serta menunjukkan karakteristik modular dan skalabel yang mendukung keandalan dalam situasi darurat. Keterlibatan operator manusia tetap penting untuk validasi akhir, menjadikan sistem ini sebagai alat bantu yang efektif bagi tim SAR. Secara umum, solusi ini berpotensi mempercepat respons,

mengurangi risiko penyelamat, dan mendukung dokumentasi digital yang lengkap.

Ke depan, pengembangan sistem dapat difokuskan pada integrasi sensor termal dan komputasi tepi untuk meningkatkan presisi dan efisiensi pemrosesan. Optimalisasi navigasi dengan algoritma *path planning* dan penerapan konsep swarm *robotics* juga direkomendasikan untuk memperluas jangkauan pencarian. Selain itu, pengujian langsung di lapangan bersama lembaga penanggulangan bencana diperlukan guna menguji adaptabilitas sistem dalam kondisi nyata.

REFERENSI

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Ahmed, A., & Kim, D. (2022). Performance analysis of deep learning models in edge devices for real-time object detection. Sensors, 22(6), 2150. https://doi.org/10.3390/s22062150

Al-Dulaimi, A., Fattah, G. H., & Hussain, S. A. (2024). A comprehensive review of object detection techniques in computer vision. Journal of Imaging, 10(2), 37. https://doi.org/10.3390/jimaging10020037

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Bozcan, A., & Kajan, E. E. (2021). UAV-based post-disaster assessment using optimized object detection. In 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/UBMK52708.2021.9558863

Chen, X., Li, H., & Zhao, W. (2023). YOLO-based real-time human detection under complex environments. Sensors, 23(4), 2132. https://doi.org/10.3390/s23042132

Guo, J., Sun, C., & Zhang, L. (2020). Design and implementation of wireless video monitoring system based on ESP32-CAM. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 768(6), 062024. https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/6/062024

He, Y., Cui, J., Vizzari, G., & Xiang, X. (2021). A survey on communication and networking for swarms of unmanned aerial vehicles. Journal of Systems Architecture, 118, 102222. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102222

Johannesson, P., & Perjons, E. (2021). An introduction to design science. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78132-3

Kim, J., Park, H., & Lee, J. (2023). Multi-sensor fusion for autonomous robot navigation in disaster environments. Robotics and Autonomous Systems, 161, 104308. https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104308

Kumar, A., & Singh, S. (2022). Cost-effective rescue robots for disaster response: A review. Journal of Field Robotics, 39(5), 789–803. https://doi.org/10.1002/rob.22034

Lee, H., Wang, J., & Chen, S. (2023). Swarm robotics approach for disaster victim search and rescue. IEEE Transactions on Robotics, 39(2), 1259–1274. https://doi.org/10.1109/TRO.2022.3201847

Li, J., Song, W., & Zhang, Y. (2021). Object detection-based post-disaster search using drone surveillance. Remote Sensing, 13(5), 912. https://doi.org/10.3390/rs13050912

Murphy, R. R. (2014). A decade of rescue robots. Communications of the ACM, 57(8), 78–87. https://doi.org/10.1145/2629540

Nugroho, A., Sari, D. P., & Wijaya, R. (2019). Disaster management system in Indonesia: Challenges and opportunities. International Journal of Disaster Risk Reduction, 35, 101089. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101089

Padilla, R., Passos, W. L., Dias, T. L., Netto, S. L., & da Silva, E. A. B. (2021). A comparative analysis of object detection metrics with a companion open-source toolkit. Electronics, 10(3), 279. https://doi.org/10.3390/electronics10030279

Qin, Y., Wang, Z., & Zhang, J. (2020). Human-machine interface design for disaster rescue robots. International Journal of Advanced Robotic Systems, 17(1). https://doi.org/10.1177/1729881420905711

Quattrini, A. M., Chimienti, M. I., Caccetta, F., & Giannoccaro, N. I. (2020). A communication system based on an ad-hoc network for rescue robots. In Intelligent Human Systems Integration (pp. 535–540). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_87

Rahman, M. M., Islam, M. R., & Ghosh, R. (2022). IoT-based disaster management systems: A

Lisensi CC Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional

review. Internet of Things, 18, 100475. https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100475

Saad, M. M., Al-emran, M., & Teo, J. (2022). A communication platform for a swarm of heterogeneous search and rescue robots. International Journal of Advanced Robotic Systems, 19(5). https://doi.org/10.1177/17298814221124430

Sharma, M., & Tripathi, R. (2021). MQTT: A machine to machine Internet of Things protocol. In 2021 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/CONIT51480.2021.9498533

Smith, J. A., & Johnson, M. R. (2021). IoT-enabled disaster response: A comprehensive survey. ACM Computing Surveys, 54(3), Article 59. https://doi.org/10.1145/3447754

Zhang, Q., Liu, Y., & Wang, H. (2021). YOLO-based victim detection system for disaster response applications. Computer Vision and Image Understanding, 207, 103201. https://doi.org/10.1016/j.cviu.2021.103201

Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2020). Object detection with deep learning: A review. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 30(11), 3212–3232. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865