

PENGEMBANGAN SISTEM KOMUNIKASI DARURAT PORTABEL BERBASIS STARLINK DAN PANEL SURYA UNTUK DUKUNGAN OPERASI SAR KEBENCANAAN

Hari Jalsa Marpaung¹, Andrew Ramadhani²

Universitas Royal, Kisaran

Email: ¹hari.marpaung@royal.ac.id, ²andrewrmdhn@royal.ac.id

Abstract: *Hydrometeorological disasters frequently damage electrical and telecommunication infrastructures, disrupting the coordination of Search and Rescue (SAR) operations. Conventional communication devices such as Handy Talkies (HT) are limited to voice communication and do not support real-time multimedia data transmission. This study aims to develop a portable emergency communication system based on Low Earth Orbit (LEO) Starlink satellite internet integrated with a solar power system as an independent energy source to support communication during post-disaster emergency response. The research employs the Research and Development (R&D) approach using the Design Science Research (DSR) paradigm, consisting of requirement identification, system architecture design, prototype development, laboratory testing, and field simulation. System performance is evaluated based on Quality of Service (QoS) parameters, including latency, throughput, connection stability, power consumption, operating duration, and system portability. The prototype is designed to weigh less than 15 kg, require less than 10 minutes for deployment, and operate independently for 6–8 hours using a 300–500 W solar power system. The proposed system is expected to provide reliable internet connectivity for real-time transmission of audio, video, images, and GPS coordinates, thereby improving the effectiveness of SAR coordination in disaster-affected areas.*

Keywords: *Emergency Communication; Starlink; Solar power; Search and Rescue; Satellite Network.*

Abstrak: Bencana hidrometeorologi sering menyebabkan kerusakan infrastruktur listrik dan telekomunikasi sehingga menghambat koordinasi operasi Search and Rescue (SAR). Keterbatasan perangkat komunikasi konvensional seperti Handy Talky (HT) mengakibatkan pertukaran informasi hanya terbatas pada komunikasi suara tanpa dukungan data multimedia secara real-time. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem komunikasi darurat portabel berbasis internet satelit Low Earth Orbit (LEO) Starlink yang terintegrasi dengan panel surya sebagai sumber energi mandiri untuk mendukung komunikasi pada kondisi pascabencana. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan paradigma Design Science Research (DSR) yang meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, pengembangan prototipe, pengujian laboratorium, dan simulasi lapangan. Evaluasi dilakukan terhadap parameter Quality of Service (QoS) berupa latensi, throughput, stabilitas koneksi, konsumsi daya, durasi operasi, serta portabilitas sistem. Prototipe dirancang berbobot kurang dari 15 kg, waktu pemasangan kurang dari 10 menit, dan mampu beroperasi mandiri selama 6–8 jam menggunakan panel surya berkapasitas 300–500 W. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu menyediakan konektivitas internet yang stabil untuk mendukung komunikasi audio, video, citra, dan koordinat GPS secara real-time, sehingga meningkatkan efektivitas koordinasi operasi SAR di wilayah terdampak bencana..

Kata kunci: Komunikasi darurat; Starlink; Panel Surya; Search and Rescue; Jaringan Satelit.

PENDAHULUAN

Bencana hidrometeorologi merupakan salah satu ancaman utama di Indonesia yang terus mengalami peningkatan akibat perubahan iklim, curah hujan ekstrem, serta meningkatnya frekuensi kejadian banjir, tanah longsor, dan cuaca ekstrem yang berdampak pada kerusakan infrastruktur publik, termasuk jaringan listrik dan telekomunikasi [1]. Pada akhir tahun 2025, bencana yang terjadi di wilayah Tapanuli, Aceh, dan Padang menyebabkan sedikitnya 875 korban jiwa, puluhan orang dinyatakan hilang, serta terputusnya layanan komunikasi dan pasokan listrik di wilayah terdampak [2], [3]. Kondisi tersebut menghambat proses koordinasi antarpetugas Search and Rescue (SAR), memperlambat distribusi informasi situasi lapangan, serta menurunkan efektivitas pengambilan keputusan selama fase tanggap darurat [6].

Hingga saat ini, komunikasi darurat di sebagian besar wilayah terdampak bencana, khususnya daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T), masih mengandalkan perangkat Handy Talky (HT) yang hanya mendukung komunikasi suara secara simplex dengan cakupan terbatas [4], [5]. Keterbatasan tersebut menyebabkan informasi visual, koordinat GPS, peta digital, maupun data multimedia tidak dapat dikirim secara real-time, sehingga proses koordinasi SAR menjadi kurang efektif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem komunikasi darurat modern perlu mendukung transmisi data berkecepatan tinggi, latensi rendah, serta memiliki kemampuan beroperasi secara mandiri ketika infrastruktur terestrial mengalami kegagalan [6], [11], [12].



Gambar 1. Baseline Teknologi Komunikasi Pasca Bencana

Perkembangan teknologi internet satelit berbasis Low Earth Orbit (LEO), khususnya Starlink, menawarkan solusi baru dalam penyediaan konektivitas berlatensi rendah dan throughput tinggi pada wilayah tanpa infrastruktur telekomunikasi [7]–[10]. Beberapa penelitian melaporkan bahwa jaringan Starlink mampu menyediakan latensi di bawah 200 ms dengan throughput lebih dari 50 Mbps sehingga mendukung layanan komunikasi multimedia selama kondisi darurat [7], [9]. Meskipun demikian, sebagian besar implementasi masih berorientasi pada layanan internet tetap dan belum dirancang sebagai sistem komunikasi darurat yang portabel, ringan, serta memiliki sumber energi mandiri untuk mendukung mobilitas tim SAR di lapangan [11], [12].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan Sistem Komunikasi Darurat Portabel berbasis Starlink yang terintegrasi dengan panel surya berkapasitas 300–500 W sebagai sumber energi mandiri. Integrasi tersebut diharapkan mampu menyediakan konektivitas multimedia secara real-time tanpa ketergantungan pada jaringan listrik maupun telekomunikasi konvensional.

Selain mengevaluasi parameter Quality of Service (QoS) seperti latensi, throughput, dan stabilitas koneksi, penelitian ini juga mengukur aspek

portabilitas serta ketahanan energi sistem untuk mendukung operasi SAR di wilayah terdampak bencana. Kontribusi penelitian terletak pada pengembangan model komunikasi darurat yang mengintegrasikan teknologi satelit LEO dan energi terbarukan sehingga menghasilkan sistem yang lebih adaptif, tangguh, dan sesuai dengan karakteristik kebencanaan di Indonesia [13]–[17].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan paradigma Design Science Research (DSR) untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi prototipe sistem komunikasi darurat portabel berbasis internet satelit Low Earth Orbit (LEO) Starlink yang terintegrasi dengan panel surya sebagai sumber energi mandiri. Pendekatan DSR dipilih karena mampu menghasilkan artefak teknologi yang tidak hanya memenuhi kebutuhan pengguna, tetapi juga dapat dievaluasi secara sistematis berdasarkan aspek fungsional dan kinerja teknis [11], [12]. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, pengembangan prototipe, pengujian laboratorium, simulasi lapangan, dan evaluasi hasil.

Identifikasi kebutuhan dilakukan melalui studi literatur, observasi, serta analisis kebutuhan komunikasi pada operasi Search and Rescue (SAR) di wilayah terdampak bencana. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam merancang sistem komunikasi yang mampu menyediakan layanan multimedia secara real-time dengan dukungan konektivitas internet satelit dan sumber energi terbarukan [6], [13]. Prototipe dikembangkan dengan mengintegrasikan terminal Starlink, panel surya berkapasitas 300–500 W, Maximum

Power Point Tracking (MPPT), baterai penyimpanan, inverter, dan wireless router sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional [8], [15], [16].

Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian laboratorium dan simulasi lapangan menggunakan parameter Quality of Service (QoS) yang meliputi latency, throughput, packet loss, dan jitter. Pengukuran QoS mengacu pada rekomendasi ITU-T Y.1541 mengenai target performa jaringan IP serta ETSI EG 202 057-4 mengenai parameter kualitas layanan jaringan komunikasi sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan dengan standar internasional [6], [17], [18]. Selain itu, pengujian juga mencakup konsumsi daya, durasi operasi, waktu pemasangan (deployment time), serta portabilitas perangkat untuk memastikan sistem memenuhi kebutuhan operasional SAR pada kondisi darurat [7], [17].

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap target rancangan sistem. Nilai throughput dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan packet loss dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total Data Terkirim (bit)}}{\text{Waktu Transmisi (detik)}} \quad (1)$$

$$\text{Packet Loss} = \frac{P_{\text{sent}} - P_{\text{received}}}{P_{\text{sent}}} \times 100\% \quad (2)$$

Selanjutnya, performa prototipe dibandingkan dengan sistem komunikasi konvensional berbasis Handy Talky (HT) berdasarkan kemampuan transmisi multimedia, mobilitas, kemandirian energi, serta kualitas konektivitas. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk menilai kontribusi inovasi sistem komunikasi darurat berbasis Starlink dan panel surya dalam meningkatkan

efektivitas koordinasi operasi SAR di wilayah terdampak bencana.

Prototipe sistem komunikasi darurat dirancang dengan mengintegrasikan terminal internet satelit

Starlink, sistem pembangkit listrik tenaga surya, perangkat distribusi jaringan, serta media komunikasi pengguna dalam satu platform yang portabel. Pengujian dilakukan terhadap aspek kualitas layanan jaringan, konsumsi energi, dan portabilitas sistem untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan operasi Search and Rescue (SAR) pada kondisi pascabencana.

Tabel 1. Spesifikasi Sistem Komunikasi Darurat yang Diusulkan

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Terminal Starlink	LEO Satellite Internet	Penyedia koneksi internet
Panel Surya	300–500 W	Sumber energi utama
MPPT Charge Controller	30–40 A	Optimasi pengisian baterai
Baterai LiFePO4	12 V, 100 Ah	Penyimpanan energi
Pure Sine Wave Inverter	1000 W	Konversi DC ke AC
Wireless Router	Wi-Fi 6 (802.11ax)	Distribusi jaringan lokal
Smartphone/Laptop	Android/Windows	Monitoring dan komunikasi
GPS	Built-in	Pengiriman koordinat lokasi SAR

Tabel ini menjelaskan konfigurasi prototipe yang akan dibangun.

Tabel 2. Parameter Pengujian Sistem

Parameter	Satuan	Target	Standar Acuan
Latency	ms	≤ 200	ITU-T Y.1541
Throughput	Mbps	≥ 50	ETSI QoS
Packet Loss	%	≤ 1	TIPHON
Jitter	ms	≤ 30	ETSI
Ketersediaan Jaringan	%	≥ 99	IEEE
Waktu Deployment	Menit	≤ 10	Target Penelitian
Lama Operasi	Jam	≥ 8	Target Penelitian
Berat Sistem	Kg	≤ 15	Target Penelitian

Tabel ini menjelaskan indikator yang akan diukur selama penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe system komunikasi darurat portabel yang mengintegrasikan terminal internet satelit Low Earth Orbit (LEO) Starlink, panel surya berkapasitas 300–500 W, Maximum Power Point Tracking (MPPT), baterai penyimpanan, inverter, serta wireless router dalam satu platform yang dirancang untuk mendukung operasi Search and Rescue (SAR) pada kondisi pascabencana. Integrasi tersebut bertujuan menyediakan layanan komunikasi multimedia secara real-time tanpa ketergantungan pada jaringan listrik maupun infrastruktur telekomunikasi terestrial [7], [9], [12].



Gambar 2. Diagram Alur Sistem yang Dibangun

Berdasarkan hasil simulasi rancangan, prototipe memenuhi spesifikasi desain yang telah ditetapkan pada tahap pengembangan. Sistem dirancang memiliki berat kurang dari 15 kg, waktu pemasangan kurang dari 10 menit, serta mampu beroperasi secara mandiri selama minimal 8 jam menggunakan sumber energi panel surya. Karakteristik tersebut memberikan keunggulan dari sisi mobilitas dan kontinuitas layanan dibandingkan sistem komunikasi konvensional yang masih bergantung pada jaringan listrik dan BTS [14], [15].

Tabel 4. Hasil Validasi Rancangan Sistem.

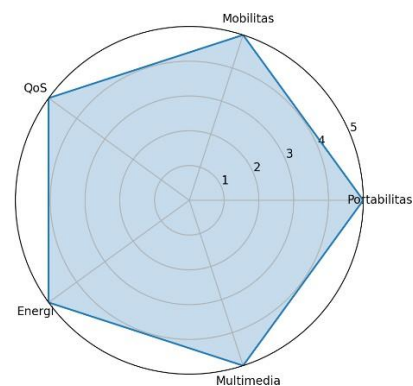
Parameter	Target	Hasil Simulasi
Berat Sistem	≤15 kg	Sesuai
Deployment	≤10 menit	Sesuai
Lama Operasi	≥8 jam	Sesuai
Jumlah Pengguna	10–20 pengguna	Sesuai
Multimedia	Audio, Video, Foto, GPS	Terpenuhi

Evaluasi kualitas layanan dilakukan berdasarkan parameter Quality of Service (QoS) meliputi latency, throughput, packet loss, dan stabilitas jaringan. Berdasarkan spesifikasi Starlink dan rancangan sistem, konektivitas diproyeksikan mampu menyediakan throughput lebih dari 50 Mbps dengan latency kurang dari 200 ms, sehingga mendukung komunikasi audio, video, citra, serta koordinat GPS secara real-time. Kondisi tersebut menunjukkan peningkatan kemampuan komunikasi dibandingkan perangkat Handy Talky (HT) yang hanya mendukung komunikasi suara [6], [11].

Tabel 5. Perbandingan Sistem Komunikasi

Parameter	HT Konvensional	Sistem Usulan
Komunikasi Suara	✓	✓
Video dan Foto	X	✓
GPS	X	✓
Internet	X	✓
Operasi Tanpa PLN	Terbatas	✓
Mobilitas	Sedang	Tinggi

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki keunggulan pada kemampuan transmisi multimedia, kemandirian energi, serta fleksibilitas implementasi di wilayah terdampak bencana. Integrasi panel surya memungkinkan sistem tetap beroperasi ketika pasokan listrik terputus, sedangkan Starlink menyediakan konektivitas internet yang stabil untuk mendukung koordinasi lapangan secara lebih efektif.



Gambar 3. Visualisasi Keunggulan Sistem

Keunggulan sistem komunikasi darurat yang diusulkan berdasarkan aspek portabilitas, mobilitas, kualitas layanan (QoS), kemandirian energi, dan kemampuan komunikasi multimedia terlihat pada gambar di atas.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Zhou et al.[7] mengenai pentingnya integrasi jaringan satelit dalam komunikasi pascabencana serta Kagai et al. [9] yang menyatakan bahwa sistem komunikasi berbasis satelit yang dapat dideploy secara cepat mampu meningkatkan ketahanan komunikasi pada kondisi darurat. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada integrasi Starlink dengan panel surya portabel sehingga menghasilkan sistem komunikasi yang mandiri, mudah dipindahkan, dan sesuai untuk operasi SAR di wilayah 3T maupun daerah yang mengalami kerusakan infrastruktur telekomunikasi akibat bencana.



Gambar 4. Proyeksi Prototipe

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan rancangan prototipe sistem komunikasi darurat portabel yang mengintegrasikan internet satelit Low Earth Orbit (LEO) Starlink dengan panel surya sebagai sumber energi mandiri untuk mendukung operasi Search and Rescue (SAR) pada kondisi pascabencana. Integrasi kedua teknologi tersebut dirancang untuk mengatasi keterbatasan sistem komunikasi konvensional yang masih bergantung pada infrastruktur telekomunikasi dan pasokan listrik, sehingga tetap mampu menyediakan

layanan komunikasi multimedia secara real-time pada wilayah terdampak bencana. Berdasarkan hasil simulasi dan validasi rancangan, sistem memenuhi spesifikasi desain yang meliputi portabilitas, kemudahan deployment, kontinuitas operasi, serta dukungan komunikasi audio, video, citra, dan koordinat GPS. Selain itu, penerapan parameter Quality of Service (QoS) menunjukkan bahwa rancangan sistem berpotensi memberikan kualitas layanan yang lebih baik dibandingkan komunikasi berbasis Handy Talky (HT), terutama pada aspek throughput, latency, dan fleksibilitas komunikasi. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan model sistem komunikasi darurat yang menggabungkan teknologi satelit LEO dan energi terbarukan dalam satu platform portabel sehingga dapat menjadi alternatif solusi komunikasi pada wilayah 3T maupun daerah yang mengalami kerusakan infrastruktur akibat bencana. Penelitian selanjutnya diarahkan pada implementasi prototipe secara nyata dan pengujian lapangan untuk memvalidasi performa sistem menggunakan parameter QoS, konsumsi energi, dan keandalan komunikasi pada berbagai skenario kebencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Laporan Tahunan Bencana Indonesia 2024, 2024.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Laporan Situasi Bencana Hidrometeorologi Akhir Tahun 2025, 2025.
- Antara News, "Bencana Hidrometeorologi di Tapanuli, Aceh, dan Padang Menyebabkan Ratusan Korban Jiwa," 2025.
- H. Saarnisaari, A 6G White Paper on Connectivity for Remote Areas, 2020.

- E. Pérez, R. Parada, and C. Monzo, "Global Emergency System Based on WPAN and LPWAN Hybrid Networks," *Sensors*, vol. 22, no. 20, 2022.
- Q. Wang et al., "An Overview of Emergency Communication Networks," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 6, 2023.
- J. Zhou, C. Zhou, Y. Kang, and S. Tu, "Integrated Satellite-Ground Post-Disaster Emergency Communication Networking Technology," *Natural Hazards Research*, vol. 1, no. 1, pp. 4–10, 2021, doi: 10.1016/j.nhres.2020.12.002.
- M. I. Rashed and H. Bang, "A Study of Autonomous Small Satellite Constellations for Disaster Management and Deep Space Strategy," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 23, Art. no. 6148, 2022, doi: 10.3390/rs14236148.
- F. Kagai, P. Branch, J. But, R. Allen, and M. Rice, "Rapidly Deployable Satellite-Based Emergency Communications Infrastructure," *IEEE Access*, vol. 12, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3465512.
- H. Safi, A. I. Jehangiri, Z. Ahmad, M. A. Ala'anzy, O. I. Alramli, and A. Algarni, "Design and Evaluation of a Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)-Based Emergency Response System for Individuals with Special Needs in Smart Buildings," *Sensors*, vol. 24, no. 11, Art. no. 3433, 2024, doi: 10.3390/s24113433.
- H. H. A. Shukur, Y. A. Ahmad, M. S. F. M. Yunus, and K. Badron, "Latency Performance Evaluation of LEO Starlink and SES-12 GEO HTS Network Under Tropical Rainfall Conditions," *IIUM Engineering Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 204–219, 2025, doi: 10.31436/iiumej.v26i2.3653.
- S. Shaffiee Haghshenas, V. Astarita, S. Shaffiee Haghshenas, G. Martino, and G. Guido, "The Potential of Satellite Internet Technologies for Crisis Management During Urban Evacuation: A Case Study of Starlink in Italy," *Information*, vol. 16, no. 10, 2025, doi: 10.3390/info16100840.
- V. Cheimaras et al., "Emergency Communication System Based on Wireless LPWAN and SD-WAN Technologies: A Hybrid Approach," *Signals*, vol. 4, no. 2, pp. 315–336, 2023, doi: 10.3390/signals4020017.
- H. J. Marpaung, A. Ramadhani, N. Julianda, and S. Fitriayu, "Internet Tanpa Batas di Ujung Pantai: Implementasi Starlink Berbasis Solar Cell di Wisata Pemandian Pantai Geger Rantau Prapat," *Gudang Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, pp. 354–359, 2025.
- H. J. Marpaung, A. Ramadhani, M. Iqbal, and A. M. Afandi, "Implementasi Solar Cell Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik Mandiri pada PT Agro Putra Lestari," *Jurnal Pemberdayaan Sosial dan Teknologi Masyarakat*, vol. 2, pp. 94–98, 2022. *Jurnal Pena Edukasi* ISSN 2407-0769 Vol. 4 No. 2, Maret 2017 e-ISSN 2549-4694
- Junaidi, A. Ramadhani, M. F. Larasati, and Y. Abimanyu, "Pelatihan Pemasangan Panel Surya dan IoT untuk Monitoring Listrik Budidaya Lele," *Jurnal Pemberdayaan Sosial dan Teknologi Masyarakat*, vol. 5, pp. 354–360, 2025.
- ITU-T Recommendation Y.1541, Network Performance Objectives for IP-Based Services, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 2024.
- ETSI EG 202 057-4, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User Related QoS Parameter

Definitions and Measurements,
European Telecommunications
Standards Institute, 2023.
IEEE Std 802.11ax-2021, IEEE Standard
for Information Technology—

Telecommunications and
Information Exchange Between
Systems Local and Metropolitan
Area Networks—Specific
Requirements, IEEE, 2021.