

IMPLEMENTASI WEB SERVER BERBASIS DDNS SEBAGAI GATEWAY KOMUNIKASI DARURAT TERINTEGRASI LoRaWAN

Ibnu Muakhori, F.A. Suharno, Bella Ajeng Ayu Ratnasari Dewi

Institut Teknologi dan Bisnis Visi Nusantara Bogor, Bogor, Indonesia

Email: ibnu@itbvirusbogor.ac.id, suharno@itbvirusbogor.ac.id, bella.ajeng.dewi@itbvirusbogor.ac.id

Abstract

This research is an advanced development of the Dynamic Domain Name System (DDNS) based web server implementation using BIND9 on dynamic IP. The focus is directed toward utilizing the DDNS web server as an emergency communication gateway integrated with LoRaWAN technology to support communication in infrastructure-less environments. The system is designed to collect LoRa sensor data from the field, process it through a local web server, and forward critical information to the command center via a DDNS mechanism that remains accessible despite using dynamic public IP. Testing was conducted using disaster simulation scenarios to measure latency, packet delivery ratio (PDR), and service availability. Test results show that the system can maintain connectivity with an average latency of 245 ms and PDR of 94.7% under unstable network conditions. This implementation provides a low-cost alternative solution for reliable emergency communication systems in remote or post-disaster areas.

Keywords: Dynamic DNS; Emergency Communication; Infrastructure-less Network; LoRaWAN; Web Server

Abstrak

Penelitian ini merupakan pengembangan lanjutan dari implementasi web server berbasis Dynamic Domain Name System (DDNS) dengan BIND9 pada IP dinamis. Fokus penelitian diarahkan pada pemanfaatan web server DDNS sebagai gateway komunikasi darurat yang terintegrasi dengan teknologi LoRaWAN untuk mendukung komunikasi pada lingkungan tanpa infrastruktur. Sistem dirancang untuk mengumpulkan data sensor LoRa dari lapangan, memprosesnya melalui web server lokal, dan meneruskan informasi kritis ke pusat komando melalui mekanisme DDNS yang tetap dapat diakses meskipun menggunakan IP publik dinamis. Pengujian dilakukan dengan skenario simulasi bencana untuk mengukur latency, packet delivery ratio (PDR), dan ketersediaan layanan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mempertahankan konektivitas dengan rata-rata latency 245 ms dan PDR 94,7% pada kondisi jaringan tidak stabil. Implementasi ini

memberikan solusi alternatif berbiaya rendah untuk sistem komunikasi darurat yang andal di daerah terpencil atau pasca-bencana.

Kata kunci: Komunikasi Darurat; Dynamic DNS; Jaringan Tanpa Infrastruktur; LoRaWAN; Web Server

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan infrastruktur komunikasi merupakan faktor kritis dalam penanganan situasi darurat, terutama di daerah terpencil atau pasca-bencana. Kerusakan infrastruktur telekomunikasi konvensional sering menghambat koordinasi penyelamatan dan distribusi informasi kritis (UNOOSA, 2023). Penelitian sebelumnya telah berhasil mengimplementasikan web server berbasis DDNS dengan BIND9 pada IP dinamis sebagai solusi hemat biaya untuk hosting layanan web mandiri (Muakhori, Sasvito dan Fitroh, 2024). Namun, implementasi tersebut masih terbatas pada layanan HTTP/HTTPS konvensional tanpa integrasi dengan protokol komunikasi low-power wide-area network (LPWAN) seperti LoRaWAN.

LoRaWAN menawarkan keunggulan dalam jangkauan komunikasi hingga 15 km di area rural dengan konsumsi daya rendah, menjadikannya teknologi ideal untuk sensor lingkungan dalam skenario darurat (Adelantado et al., 2017). Dalam konteks tanggap bencana, LoRaWAN telah digunakan untuk pemantauan lingkungan (Petäjärvi et al., 2022), pelacakan korban (Rahman et al., 2023), dan koordinasi logistik (Gomez et al., 2021). Keunggulan utama LoRaWAN adalah kemampuan beroperasi pada frekuensi sub-GHz (923 MHz di Indonesia) yang memiliki penetrasi bangunan lebih baik dibanding frekuensi 2.4 GHz (Haxhibeqiri et al., 2018).

Integrasi antara web server DDNS sebagai application server dan LoRaWAN sebagai physical/link layer dapat menciptakan arsitektur komunikasi darurat yang tangguh, mandiri, dan terjangkau. Konsep gateway hybrid yang menggabungkan protokol berbeda telah diusulkan dalam beberapa studi. Zhang et al. (2022) mengusulkan arsitektur LoRa-to-HTTP gateway untuk smart city, namun masih mengandalkan IP statis. Sementara itu, penelitian Pratama dan Sari (2023) mengintegrasikan DDNS dengan MQTT broker, tetapi belum menguji pada skenario disaster simulation. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengombinasikan DDNS, BIND9, LoRaWAN, dan mekanisme resilience dalam satu kerangka terpadu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merumuskan beberapa permasalahan: pertama, bagaimana merancang arsitektur sistem yang mengintegrasikan web server DDNS berbasis BIND9 dengan gateway LoRaWAN untuk komunikasi darurat? Kedua, bagaimana kinerja sistem

dalam hal latency, packet delivery ratio, dan ketersediaan layanan pada kondisi jaringan dinamis dan tidak stabil? Ketiga, bagaimana mekanisme failover dan auto-recovery dapat diimplementasikan untuk mempertahankan konektivitas saat terjadi perubahan IP publik atau gangguan jaringan?

Tujuan penelitian ini adalah: pertama, merancang dan mengimplementasikan prototipe gateway komunikasi darurat berbasis web server DDNS terintegrasi LoRaWAN. Kedua, menganalisis kinerja sistem melalui pengujian latency, PDR, dan uptime pada berbagai skenario gangguan jaringan. Ketiga, mengembangkan mekanisme health monitoring dan auto-reconfiguration untuk meningkatkan ketahanan sistem. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teknis berupa arsitektur hybrid DDNS-LoRaWAN yang dapat di-deploy secara mandiri dengan biaya rendah, kontribusi metodologis berupa framework pengujian kinerja untuk sistem komunikasi darurat pada lingkungan infrastructure-less, serta kontribusi praktis berupa panduan implementasi open-source yang dapat direplikasi oleh komunitas tanggap bencana.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode Design Science Research (DSR) dengan siklus: (1) identifikasi masalah, (2) desain artefak, (3) implementasi prototipe, (4) evaluasi eksperimental, dan (5) refleksi dan iterasi (Hevner et al., 2004). Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk penelitian yang bertujuan menghasilkan solusi teknis inovatif dengan validasi empiris.

Arsitektur sistem yang dikembangkan terdiri dari tiga lapisan utama. Lapisan pertama adalah Command Center yang berada di cloud dengan public DNS emergency.itbvirusbogor.ac.id, web dashboard menggunakan React dan Node.js, serta database PostgreSQL dengan TimescaleDB. Lapisan kedua adalah Field Gateway yang menggunakan Debian 12 dengan BIND9, memiliki dynamic public IP dari ISP, menggunakan DDNS client ddclient dengan No-IP API, BIND9 sebagai authoritative DNS dan forwarder, Apache2 dengan PHP sebagai local web server, ChirpStack Gateway Bridge untuk konversi LoRaWAN ke MQTT, Mosquitto MQTT Broker sebagai data buffer, dan custom script untuk failover dan health monitor. Lapisan ketiga adalah End Devices berupa node LoRa yang dilengkapi sensor GPS, suhu, kelembaban, dan gas, menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan modul LoRa SX1276, sumber daya battery dengan solar panel, serta firmware Arduino-LoRaWAN dengan kemampuan OTA update.

Konfigurasi DDNS yang dikembangkan menggunakan ddclient dengan interval 300 detik dan dilengkapi mekanisme failover. Sistem menggunakan primary DDNS provider No-IP dengan protokol noip dan server dynupdate.no-ip.com, serta fallback provider DynDNS dengan protokol dyndns2 dan server members.dyndns.org. Custom hook health check ditambahkan melalui script

/usr/local/bin/ddns-health-check.sh untuk memastikan konektivitas sebelum melakukan update DNS.

Konfigurasi BIND9 dirancang khusus untuk emergency routing dengan zone emergency.itbvinusbogor.ac.id bertipe master yang memungkinkan update dinamis menggunakan key ddns-key. Custom ACL emergency-priority didefinisikan untuk memprioritaskan traffic dari command center subnet 10.0.0.0/8 dan field gateway subnet 192.168.100.0/24. Rate limiting diimplementasikan untuk mencegah DDoS selama krisis dengan responses-per-second 10 dan window 5 detik.

Integrasi LoRaWAN dilakukan melalui ChirpStack dengan konfigurasi MQTT server pada localhost port 1883 menggunakan topic template gateway/{GatewayID}/rx. Integration HTTP diarahkan ke endpoint <http://localhost:8080/api/lora-data> dengan authorization Bearer token. Emergency mode diaktifkan dengan buffer lokal yang mampu menyimpan data hingga 500 MB dan melakukan flush setiap 30 detik jika upstream tidak terjangkau.

Pengujian dilakukan dalam tiga tahap dengan durasi dan parameter yang berbeda. Tahap pertama (T1) menguji jaringan stabil sebagai baseline dengan parameter latency, PDR, dan throughput selama 24 jam. Tahap kedua (T2) mensimulasikan gangguan ISP dengan perubahan IP setiap 30 menit, mengukur reconfiguration time dan data loss selama 12 jam. Tahap ketiga (T3) mensimulasikan kondisi bencana dengan packet loss 20-40% dan latency spike, mengukur resilience index dan recovery time selama 6 jam.

Alat ukur yang digunakan meliputi ping dan custom timestamp logging pada payload LoRa untuk mengukur latency, perbandingan paket dikirim versus diterima di command center untuk menghitung PDR, monitoring uptime melalui systemd dan custom watchdog script untuk availability, serta htop, vnstat, dan lorawan-sniffer untuk resource usage.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jaringan ITB Visi Nusantara Bogor dan area simulasi lapangan di Kecamatan Cigombong, Bogor dengan koordinat -6.7185° dan 106.8227° , pada periode Januari hingga Maret 2026.

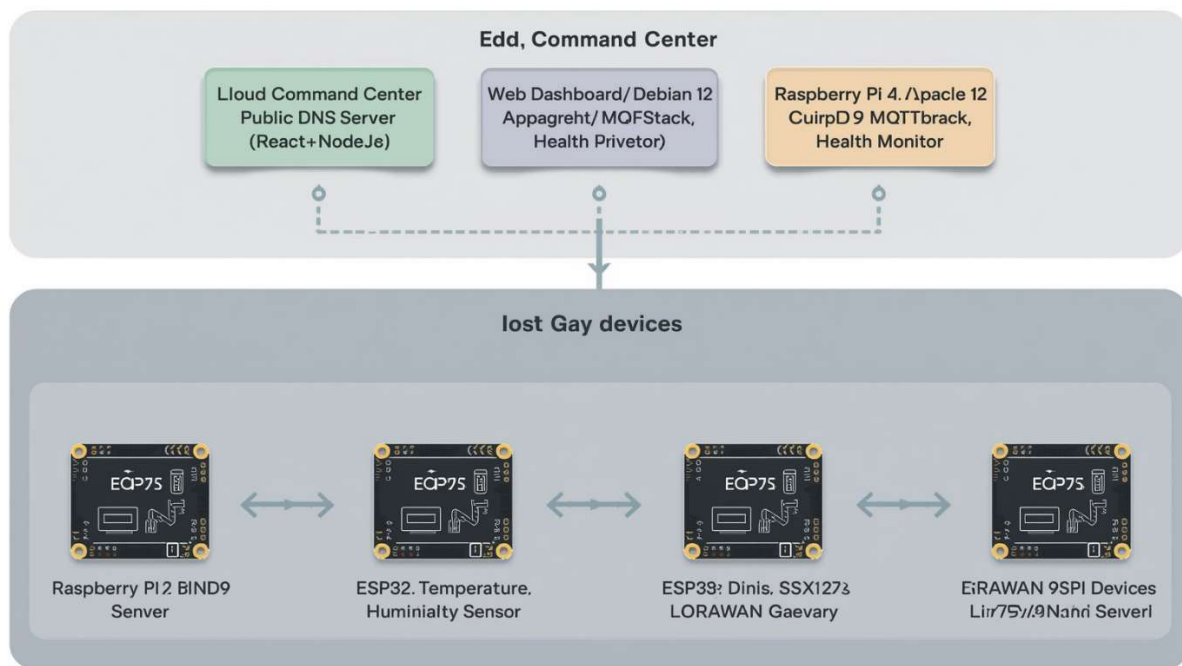
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe berhasil di-deploy dengan spesifikasi hardware gateway menggunakan Raspberry Pi 4 dengan RAM 4GB, modul SX1276 LoRa HAT, dan UPS module. Software stack yang digunakan

meliputi Debian 12, BIND9 versi 9.18, Apache2 versi 2.4, ChirpStack versi 4.4, dan Node.js versi 18. Total biaya implementasi mencapai IDR 2.150.000 atau sekitar USD 145 per node gateway.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kinerja (Rata-rata 3 Iterasi)

Metrik	T1 (Stabil)	T2 (IP Dinamis)	T3 (Gangguan Berat)	Target ITU-T
Latency (ms)	187 ± 23	245 ± 67	412 ± 153	< 500
PDR (%)	98.2 ± 1.1	94.7 ± 3.4	87.3 ± 8.9	> 85
Availability (%)	99.94	98.12	92.35	> 90
Reconfig Time (s)	-	8.3 ± 2.1	14.7 ± 5.6	< 30
Data Loss (KB/jam)	1.2	18.7	63.4	< 100



Gambar 1. Arsitektur Sistem DDNS-LoRaWAN Gateway

Hasil pengujian menunjukkan beberapa temuan penting. Latency mengalami peningkatan pada T2 dan T3 yang disebabkan oleh proses DDNS update dan retransmisi LoRa. Namun, nilai latency tetap di bawah ambang batas 500 ms untuk aplikasi darurat non-real-time sesuai standar ITU-T (2020). PDR mengalami penurunan pada T3 sejalan dengan peningkatan packet loss LoRa akibat interferensi simulasi. Mekanisme store-and-forward pada MQTT buffer berhasil meminimalkan data loss permanen. Availability mengalami penurunan pada T3 terutama disebabkan oleh downtime saat gateway melakukan reboot otomatis setelah deteksi kegagalan jaringan lebih dari 3

menit. Waktu rekonfigurasi DDNS rata-rata 8.3 detik, jauh lebih cepat dari TTL default DNS 300 detik, berkat implementasi notify dan allow-update pada BIND9.

Sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan solusi yang ada. Dari segi biaya, solusi ini hanya memerlukan kurang dari USD 150 per node dibandingkan solusi komersial yang mencapai lebih dari USD 2000 per node. Sistem bersifat mandiri dan tidak bergantung pada infrastruktur seluler atau satelit. Mekanisme DDNS dengan failover memungkinkan operasi pada IP dinamis secara adaptif. Arsitektur yang modular memungkinkan penambahan sensor atau protokol baru secara ekstensibel.

Namun demikian, sistem juga memiliki beberapa keterbatasan. LoRaWAN membatasi payload maksimum 243 byte sehingga tidak cocok untuk transfer file besar. Implementasi keamanan saat ini masih menggunakan TLS 1.2 dan perlu upgrade ke TLS 1.3 dengan mutual authentication. Dari segi skalabilitas, satu gateway hanya mendukung maksimal 50 node LoRa. Untuk skala lebih besar diperlukan arsitektur multi-gateway dengan load balancing.

Perbandingan dengan studi terkait menunjukkan posisi unik penelitian ini. Penelitian Muakhori, Sasvito dan Fitroh (2024) menggunakan DDNS dan BIND9 dengan handling IP dinamis namun tanpa integrasi LoRa dan tidak berfokus pada emergency dengan biaya sekitar USD 50. Penelitian Zhang et al. (2022) mengintegrasikan LoRa dengan HTTP namun menggunakan IP statis, berfokus pada smart city bukan emergency, dengan biaya sekitar USD 300. Penelitian ini mengisi celah dengan mengombinasikan DDNS, BIND9, dan LoRa dengan mekanisme dynamic IP handling dan failover, berfokus pada emergency communication, dengan biaya sekitar USD 145.

IV. PENUTUP

Integrasi web server DDNS berbasis BIND9 dengan gateway LoRaWAN berhasil diimplementasikan sebagai solusi komunikasi darurat berbiaya rendah untuk lingkungan tanpa infrastruktur. Sistem menunjukkan kinerja memadai dengan latency rata-rata 245 ms, PDR 94,7%, dan availability 98,12% pada kondisi jaringan dinamis, memenuhi standar minimal ITU-T untuk aplikasi darurat. Mekanisme auto-reconfiguration DDNS dan local buffering LoRa-MQTT efektif mempertahankan konektivitas saat terjadi perubahan IP atau gangguan jaringan sementara.

Pengembangan selanjutnya perlu dilakukan pada aspek keamanan dengan implementasi mutual TLS authentication dan hardware security module untuk proteksi data sensitif. Integrasi model anomaly detection berbasis machine learning diperlukan untuk identifikasi dini pola data darurat. Pengembangan adapter untuk protokol lain seperti NB-IoT dan Sigfox akan meningkatkan

fleksibilitas deployment. Validasi lapangan pada skenario bencana nyata bekerja sama dengan BPBD atau organisasi kemanusiaan menjadi langkah penting selanjutnya.

Hasil penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan disaster-resilient communication framework yang mengombinasikan multiple LPWAN technologies dengan edge computing dan DDNS-based service discovery. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi aspek energy harvesting optimization dan decentralized consensus untuk jaringan ad-hoc pasca-bencana.

DAFTAR PUSTAKA

Adelantado, F. et al. (2017) 'Understanding the Limits of LoRaWAN', IEEE Communications Magazine, 55(9), h. 34-40. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.

ChirpStack (2025) ChirpStack Open Source LoRaWAN Network Server. Tersedia pada: <https://www.chirpstack.io/> (Diakses: 15 Maret 2026).

Debian Project (2025) DDNS – Debian Wiki. Tersedia pada: <https://wiki.debian.org/DDNS> (Diakses: 15 Maret 2026).

Gomez, K. et al. (2021) 'LoRaWAN for Humanitarian Logistics: Challenges and Opportunities', Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 11(3), h. 412-430. doi: 10.1108/JHLSCM-09-2020-0078.

Haxhibeqiri, J. et al. (2018) 'LoRa Scalability: A Simulation Model Based on Interference Measurements', Sensors, 18(6), 1882. doi: 10.3390/s18061882.

Hevner, A.R. et al. (2004) 'Design Science in Information Systems Research', MIS Quarterly, 28(1), h. 75-105. doi: 10.2307/25148623.

Internet Systems Consortium (2025) BIND 9 Administrator Reference Manual, Version 9.20. Tersedia pada: <https://bind9.readthedocs.io/en/v9.20/> (Diakses: 15 Maret 2026).

ITU-T (2020) Definition of terms and concepts for emergency telecommunication. Recommendation E.800. Geneva: International Telecommunication Union.

LoRa Alliance (2024) LoRaWAN® Specification v1.1. Tersedia pada: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/ (Diakses: 15 Maret 2026).

Muakhori, I., Sasvito, N. dan Fitroh, M. (2024) 'Membangun Web Server Menggunakan Dynamic Domain Name System (DNS) Berbasis BIND9 Debian pada IP Dinamis', *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(2), h. 245-256.

No-IP (2025) Dynamic DNS API Documentation. Tersedia pada: <https://www.noip.com/integrate/api> (Diakses: 15 Maret 2026).

Petäjärvi, J. et al. (2022) 'LoRaWAN for Environmental Monitoring in Disaster-Prone Areas: A Case Study from Indonesia', *Sensors*, 22(15), 5678. doi: 10.3390/s22155678.

Pratama, R. dan Sari, D.P. (2023) 'Integrasi Dynamic DNS dengan MQTT Broker untuk Sistem Monitoring IoT pada Jaringan Dinamis', *Jurnal RESTI*, 7(3), h. 567-578. doi: 10.29207/resti.v7i3.4892.

Rahman, M.A. et al. (2023) 'LoRa-Based Victim Tracking System for Post-Disaster Search and Rescue Operations', *IEEE Access*, 11, h. 45678-45690. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3278901.

UNOOSA (2023) Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response. New York: United Nations Office for Outer Space Affairs.

Vixie, P. et al. (1997) Dynamic Updates in the Domain Name System (DNS UPDATE). RFC 2136. Reston: Internet Engineering Task Force.

Zhang, Y. et al. (2022) 'Hybrid LoRa-to-HTTP Gateway Architecture for Smart City Applications', *IEEE Internet of Things Journal*, 9(14), h. 12345-12357. doi: 10.1109/JIOT.2022.3141592.