



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM
PEMBANGUNAN LAYANAN *SERVER LORAWAN*
ON-PREMISE BERBASIS *CHIRPSTACK***

SKRIPSI

Rakesh Sharma Pramujio

2203421033

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI BROADBAND MULTIMEDIA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM
PEMBANGUNAN LAYANAN *SERVER LORAWAN*
ON-PREMISE BERBASIS *CHIRPSTACK***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Terapan

**POLITEKNIK
NEGERI
Rakesh Sharma Pramujio
JAKARTA
2203421033**

PROGRAM STUDI BROADBAND MULTIMEDIA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rakesh Sharma Pramujio

NIM : 2203421033

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 JUNI 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Rakesh Sharma Pramujio

NIM : 2203421033

Program Studi : Broadband Multimedia

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Modul Praktikum Pembangunan Layanan
Server LoRaWAN On-Premise Berbasis Chirpstack

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 30 JUNI 2026 dan dinyatakan LULUS.

Pembimbing I : Agus Wagyan S.T., M.T
NIP. 196808241999031002

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA
Depok, 21 JULI 2026
Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T
NIP 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Modul Praktikum Pembangunan Layanan *Server LoRaWAN On-Premise Berbasis Chirpstack*" dengan sebaik-baiknya.

Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Broadband Multimedia, Politeknik Negeri Jakarta. Melalui penelitian ini, penulis berupaya merancang dan membangun modul praktikum sebagai media pembelajaran namun Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak akan terwujud tanpa dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Wagyana S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam memberikan bimbingan, arahan, serta masukan selama proses penelitian dan penulisan laporan ini.
2. Almarhum Papa, Mama, Kakak dan seluruh keluarga yang telah memberikan doa, dukungan moral, dan motivasi yang tiada hentinya selama proses penyusunan laporan ini.
3. Teman-teman kelas BM A yang telah menemani, memberikan semangat, serta berbagi suka dan duka selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini selesai.
4. Raihan Syamlan, Nurrokhim, Kak Mira, Eci, serta rekan-rekan dari Voltros, atas keceriaan dan kebersamaan dalam bermain voli yang menjadi sarana melepas stres selama proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi serta dapat menjadi referensi yang berguna bagi pembaca dan peneliti selanjutnya.

Depok, 26 Juni 2026

Rakesh Sharma Pramujio



ABSTRAK

Perkembangan Internet of Things (IoT) mendorong kebutuhan teknologi komunikasi berdaya rendah dan berjangkau luas, salah satunya LoRaWAN. Namun, pembelajaran LoRaWAN di lingkungan akademik khususnya pada mata kuliah Komputasi Pervasif masih terbatas pada komunikasi LoRa point-to-point dan belum tersedia modul praktikum yang membahas pembangunan infrastruktur server secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan merancang, menginstal, dan mengonfigurasi infrastruktur LoRaWAN berbasis Chirpstack on-premise, mengimplementasikan integrasi gateway dengan server, serta menguji performa komponen Chirpstack meliputi proses join OTAA, integrasi MQTT, dan konektivitas gateway bridge. Metode penelitian mencakup studi literatur, perancangan hardware dan software, pengujian sistem, dan analisis kinerja, dengan Chirpstack dijalankan pada virtual machine di atas server fisik IBM System x3650 M4 menggunakan Proxmox. Pengujian join OTAA dilakukan pada variasi Spreading factor (SF7–SF12) dengan Bandwidth 125 kHz sebanyak 15 kali percobaan per konfigurasi. Hasil menunjukkan success rate 100% pada seluruh 90 percobaan, Join Duration meningkat dari 5.127 ms pada SF7 hingga 7.832 ms pada SF12 sejalan dengan teori Time on Air, MAPE model prediksi sebesar 0,32% pada kondisi normal, serta anomali pada SF11 (+690 ms) yang mengindikasikan penggunaan jendela RX2. Pengujian gateway bridge dan integrasi MQTT seluruhnya berhasil tanpa ditemukan kegagalan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa infrastruktur Chirpstack on-premise berhasil dibangun dan berfungsi dengan baik sebagai modul praktikum pembelajaran LoRaWAN.

Kata kunci: LoRaWAN, Chirpstack, on-premise, OTAA, Spreading factor

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*Design and Development of a Practicum Module for Building an On-Premise
LoRaWAN Server Service Based on ChirpStack*

ABSTRACT

The development of the Internet of Things (IoT) has driven the need for low-power, wide-range communication technology, one of which is LoRaWAN. However, LoRaWAN learning in academic settings, particularly in the Pervasive Computing course, remains limited to point-to-point LoRa communication, with no practicum module available that comprehensively covers server infrastructure development. This research aims to design, install, and configure a Chirpstack-based on-premise LoRaWAN infrastructure, implement gateway-to-server integration, and test Chirpstack component performance including the OTAA join process, MQTT integration, and gateway bridge connectivity. The research method covers literature study, hardware and software design, system testing, and performance analysis, with Chirpstack deployed on a virtual machine running on an IBM System x3650 M4 physical server using Proxmox. OTAA join testing was conducted across Spreading factor variations (SF7–SF12) at 125 kHz Bandwidth with 15 trials per configuration. Results showed a 100% success rate across all 90 trials, Join Duration increasing from 5,127 ms at SF7 to 7,832 ms at SF12 consistent with Time on Air theory, a prediction model MAPE of 0.32% under normal conditions, and an anomaly at SF11 (+690 ms) indicating RX2 window usage. Gateway bridge and MQTT integration tests were entirely successful with no failures observed. This research concludes that the on-premise Chirpstack infrastructure was successfully built and functions effectively as a LoRaWAN learning practicum module.

Keywords: LoRaWAN, Chirpstack, on-premise, OTAA, Spreading factor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Luaran.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. State of the Art.....	6
2.2. <i>Internet of Things</i> (IoT).....	8
2.3. Teknologi LoRa dan LoRaWAN.....	8
2.3.1. Konsep Dasar LoRa (<i>Long Range</i>).....	8
2.3.2. Protokol LoRaWAN.....	10
2.3.3. Pita Frekuensi LoRa.....	11
2.4. Arsitektur Jaringan LoRaWAN.....	11
2.5. Kelas Perangkat LoRaWAN.....	14
2.5.1. Class A (Komunikasi Dua Arah dengan Konsumsi Daya Terendah)....	14



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.5.2. Class B (Komunikasi Dua Arah dengan Jendela Penerimaan.....	15
Terjadwal).....	15
2.5.3. Class C (Komunikasi Dua Arah dengan Jendela Penerimaan Hampir.	16
Terus-Menerus).....	16
2.5.4. Perbandingan Setiap Kelas Perangkat LoRaWAN.....	16
2.6. Parameter Jaringan LoRaWAN.....	17
2.7. Mekanisme Aktivasi Perangkat LoRaWAN.....	21
2.7.1. <i>Over Time Air Activation</i> (OTAA).....	22
2.7.2. <i>Activation By Personalization</i> (ABP).....	23
2.8. Chirpstack.....	23
2.8.1. Pengertian dan Fungsi Chirpstack.....	23
2.8.2. Komponen Chirpstack.....	24
2.9. Protokol Komunikasi LoRaWAN Berbasis Chirpstack.....	25
2.10. <i>MQTT Broker</i>	26
2.11. <i>Server</i>	26
2.11.1. <i>Network Server</i>	26
2.11.2. <i>Application Server</i>	27
2.11.3. <i>Server On-Premise</i>	28
2.11.4. Perbedaan <i>Network Server</i> , <i>Application Server</i> dan <i>Server On-Premise</i>	29
2.12. Virtualisasi (<i>Virtual Machine</i>).....	30
2.13. <i>Proxmox Virtual Environment</i>	30
2.14. <i>Docker</i>	31
2.15. <i>Database</i>	31
2.15.1. <i>PostgreSQL</i>	31
2.15.2. <i>Redis</i>	32



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.15.3. <i>InfluxDB</i>	32
2.16. <i>SenseCAP M2 Multi-Platform LoRaWAN Gateway</i>	32
2.17. <i>IBM System x3650 M4</i>	34
2.18. <i>Heltec WiFi LoRa 32 V3</i>	34
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI	37
3.1. Rancangan Sistem.....	38
3.1.1. Deskripsi Sistem.....	39
3.1.2. Cara Kerja Sistem.....	40
3.1.3. Spesifikasi Alat.....	42
3.1.4. Alur Perancangan Sistem.....	45
3.1.5. Cara Kerja Chirpstack.....	53
3.1.6. Cara Kerja <i>Gateway</i> didalam Sistem.....	55
3.2. Realisasi Alat.....	57
3.2.1. Realisasi dan Implementasi Setup <i>Server</i>	57
3.2.2. Realisasi Setup Proxmox.....	59
3.2.3. Realisasi Setup Virtual Machine.....	64
3.2.4. Realisasi Instalasi <i>Ubuntu Server</i> di Dalam Virtual Machine.....	70
3.2.5. Realisasi Setup Chirpstack <i>Server</i>	75
3.2.6. Realisasi Konfigurasi <i>Gateway</i> pada Platform <i>SenseCAP</i>	81
3.2.7. Realisasi Pendaftaran <i>Gateway</i> ke dalam Chirpstack.....	89
3.2.8. Realisasi Pengelompokkan <i>End device</i> ke Dalam Chirpstack.....	91
3.2.9. Realisasi Pendaftaran <i>End device</i> ke Chirpstack.....	94
3.2.10. Realisasi Penyambungan <i>End device</i>	95
3.2.11. Realisasi Pembuatan Peran Pengguna Chirpstack (<i>Owner, Editor</i> dan <i>Viewer</i>).....	101



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2.12. Realisasi Pembuatan Sistem Peringatan Bagi Layanan ChirpStack	102
3.2.13. Realisasi Sistem Failover pada Virtual Machine Cadangan.....	104
Bab IV PEMBAHASAN.....	106
4.1. Pengujian Join OTAA.....	106
4.1.1. Deskripsi Pengujian.....	106
4.1.2. Prosedur Pengujian.....	107
4.1.3 Data Hasil Pengujian Join OTAA.....	109
4.1.4 Analisis Data Pengujian Join OTAA.....	109
4.1.5. Implementasi Sketch <i>Arduino IDE</i> pada Pengujian Join OTAA.....	115
4.2. Pengujian <i>Gateway bridge</i>	117
4.2.1. Deskripsi Pengujian.....	117
4.2.2. Prosedur Pengujian.....	117
4.2.3. Data Hasil Pengujian <i>Gateway bridge</i>	119
4.2.4. Analisis Data Pengujian <i>Gateway bridge</i>	121
4.3. Pengujian Integrasi <i>MQTT</i> pada <i>Application server</i>	122
4.3.1. Deskripsi Pengujian.....	122
4.3.2. Prosedur Pengujian.....	122
4.3.3. Data Hasil Pengujian Integrasi <i>MQTT</i>	124
4.3.4. Analisis Data Pengujian Integrasi <i>MQTT</i>	125
Bab V PENUTUP.....	126
5.1. Kesimpulan.....	126
5.2. Saran.....	126
DAFTAR PUSTAKA.....	128
RIWAYAT HIDUP.....	132
LAMPIRAN.....	133



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Tiga Kelas LoRaWAN.....	16
Tabel 2.2 Hubungan Rentang Setiap SF.....	19
Tabel 2.3 Indeks Data rate pada Frekuensi 923 MHz.....	20
Tabel 2.4 Perbedaan Ketiga Server.....	29
Tabel 2.5 Spesifikasi SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway LoRaWAN	33
Tabel 2.6 Spesifikasi Heltec WiFi LoRa 32 V3.....	35
Tabel 3. 1 Spesifikasi Perangkat Keras Pendukung Layanan <i>Server</i> LoRaWAN On-Premise.....	42
Tabel 3. 2 Spesifikasi Perangkat Lunak Pendukung Layanan <i>Server</i> LoRaWAN On-Premise.....	44
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Join OTAA.....	107
Tabel 4.2 Statistik Variasi Data <i>Join Duration</i> per Konfigurasi SF.....	108
Tabel 4.3 Perbandingan ToA dengan Hasil Observasi <i>Join Duration</i>	109
Tabel 4.4 Analisis Error Prediksi <i>Join Duration</i>	110
Tabel 4.5 Hasil Data Pengujian <i>Gateway bridge</i>	118
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Integrasi <i>MQTT</i>	122

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur LoRaWAN.....	10
Gambar 2.2	Tampilan Network server.....	13
Gambar 2.3	Tampilan Application server.....	14
Gambar 2.4	Jendela Penerimaan Singkat (RX1 dan RX2).....	15
Gambar 2.5	Mekanisme Downlink Kelas B.....	16
Gambar 2.6	SenseCAP M2 LoRaWAN Gateway.....	32
Gambar 2.7	Heltec WiFi LoRa 32 V3.....	35
Gambar 3. 1	Flowchart Penelitian.....	37
Gambar 3. 2	Flow Chart Sistem.....	41
Gambar 3. 3	Flowchart Perancangan Sistem.....	46
Gambar 3. 4	Flowchart Aktivasi <i>Gateway</i>	48
Gambar 3. 5	Flowchart Pendaftaran <i>Gateway</i>	50
Gambar 3. 6	Flowchart Pendaftaran Device Profiles.....	52
Gambar 3. 7	Flowchart Pendaftaran Device Profiles.....	53
Gambar 3. 8	Flowchart Cara Kerja <i>Gateway</i>	55
Gambar 3. 9	Setup Slot SSD dan Konektivitas LAN <i>Server</i>	58
Gambar 3. 10	Tampilan Command Line.....	59
Gambar 3. 11	Tampilan Menu <i>Installer Proxmox VE</i>	60
Gambar 3. 12	Tampilan Menu Pemilihan Zona Waktu.....	60
Gambar 3. 13	Tampilan Menu Proxmox Memasukkan Email dan Kata Sandi.....	61
Gambar 3. 14	Tampilan Menu Proxmox untuk Mengatur Jaringan.....	61
Gambar 3. 15	Tampilan Proxmox Ketika <i>Installasi</i> Dijalankan.....	62
Gambar 3. 16	Tampilan <i>Dashboard</i> Proxmox Diakses Melalui Browser.....	63
Gambar 3. 17	Tampilan Ringkasan Informasi Sistem Proxmox.....	63
Gambar 3. 18	Tampilan Command Prompt untuk melakukan Remote.....	64
Gambar 3. 19	Halaman Login Proxmox.....	65
Gambar 3. 20	Navigasi Tombol Create VM.....	65
Gambar 3. 21	Halaman General yang Harus Di isi.....	66
Gambar 3. 22	Halaman Konfigurasi Sistem Operasi.....	66
Gambar 3. 23	Tampilan Konfigurasi Sistem.....	67
Gambar 3. 24	Tampilan Konfigurasi Penyimpanan.....	67
Gambar 3. 25	Tampilan Konfigurasi CPU.....	68
Gambar 3. 26	Tampilan Konfigurasi RAM Virtual Machine.....	68
Gambar 3. 27	Tampilan Konfigurasi Jaringan.....	68
Gambar 3. 28	Tampilan Halaman Konfirmasi.....	69
Gambar 3. 29	Navigasi Tombol Start Virtual Machine.....	69
Gambar 3. 30	Navigasi Pengaksesan Console.....	70
Gambar 3. 31	Tampilan Pemilihan Bahasa.....	70
Gambar 3. 32	Tampilan Tawaran Pembaharuan <i>Installer</i>	71
Gambar 3. 33	Tampilan Jenis <i>Installasi</i>	71
Gambar 3. 34	Tampilan Konfigurasi Jaringan.....	72
Gambar 3. 35	Tampilan Pemilihan Repositori Ubuntu.....	72
Gambar 3. 36	<i>Installasi</i> Repositori Ubuntu.....	72

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 37 Tampilan Partisi Disk.....	73
Gambar 3. 38 Tampilan Pengisian Data Profil.....	73
Gambar 3. 39 Tampilan Layar <i>Instalasi</i> Fitur Tambahan.....	74
Gambar 3. 40 Tampilan Layar Proses <i>Instalasi</i> Berhasil dan Mulai Ulang.....	74
Gambar 3. 41 Tampilan MOTD.....	75
Gambar 3. 42 Tampilan Terminal Command Prompt.....	75
Gambar 3. 43 Tampilan Terminal Menunjukkan Perintah Akses Tailscale.....	76
Gambar 3. 44 Tampilan Terminal Ketika Memasukkan Kata Sandi.....	76
Gambar 3. 45 Tampilan Terminal Ketika Memulai VM.....	77
Gambar 3. 46 Contoh Perintah Pengaksesan VM.....	77
Gambar 3. 47 Tampilan Proses Penyambungan ke Virtual Machine.....	77
Gambar 3. 48 Tampilan Prompt Ketika Berhasil Mengakses VM.....	78
Gambar 3. 49 Tampilan Proses Peningkatan dan Pembaharuan Sistem VM.....	78
Gambar 3. 50 Tampilan Proses <i>Instalasi</i> Dependasi <i>Docker</i>	79
Gambar 3. 51 Tampilan Proses <i>Instalasi Docker</i>	79
Gambar 3. 52 Proses <i>Instalasi Docker</i> Compose.....	79
Gambar 3. 53 Proses Penambahan User.....	79
Gambar 3. 54 Tampilan Terminal Untuk Proses <i>Instalasi Docker</i>	79
Gambar 3. 55 Tampilan Terminal untuk Proses Cloning Repository.....	80
Gambar 3. 56 Tampilan Terminal untuk Proses Pengaktifan Layanan <i>Docker</i>	80
Gambar 3. 57 Tampilan Terminal Berjalannya Setiap Layanan.....	80
Gambar 3. 58 Tampilan Browser mengakses Chirpstack.....	81
Gambar 3. 59 Tampilan Awal Halaman Chirpstack.....	81
Gambar 3. 60 Tampilan LED sudah berwarna biru solid.....	82
Gambar 3. 61 Tombol <i>Gateway</i> untuk Konfigurasi.....	82
Gambar 3. 62 Tampilan Pembacaan Jaringan WiFi.....	83
Gambar 3. 63 Tampilan Belakang dari <i>Gateway</i>	83
Gambar 3. 64 Tampilan <i>Dashboard</i> SenseCAP.....	84
Gambar 3. 65 Navigasi Halaman untuk Wireless.....	84
Gambar 3. 66 Navigasi Tombol Scanning.....	84
Gambar 3. 67 Tampilan Hasil Pembacaan Wireless Scan.....	85
Gambar 3. 68 Proses Pengisian Password Network.....	85
Gambar 3. 69 Penambahan Konektivitas <i>Gateway</i>	85
Gambar 3. 70 Tampilan Loading Perubahan Jaringan.....	86
Gambar 3. 71 Tampilan Setelah Konfigurasi Berubah.....	86
Gambar 3. 72 Halaman Login Konfigurasi Router.....	86
Gambar 3. 73 Tampilan Halaman <i>Dashboard</i>	87
Gambar 3. 74 Tampilan Halaman Device yang Tergabung di Jaringan.....	87
Gambar 3. 75 Tampilan Perubahan Sambungan Koneksi <i>Gateway</i>	88
Gambar 3. 76 Navigasi Menuju Halaman LoRa Network.....	88
Gambar 3. 77 Perubahan Fungsi <i>Gateway</i>	88
Gambar 3. 78 Formulir Pengisian Alamat <i>Server</i>	89
Gambar 3. 79 Tampilan Loading Proses Konfigurasi.....	89
Gambar 3. 80 Halaman <i>Dashboard</i> Chirpstack.....	89
Gambar 3. 81 Tampilan Halaman Penambahan <i>Gateway</i>	90



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 82 Pengisian Data Penting Untuk Penyambungan.....	90
Gambar 3. 83 Indikator <i>Gateway</i> Berhasil Disambungkan.....	90
Gambar 3. 84 Tampilan <i>Dashboard</i> Chirpstack.....	91
Gambar 3. 85 Halaman Device Profile.....	91
Gambar 3. 86 Navigasi Add Device Profile.....	92
Gambar 3. 87 Tampilan Formulir Device Profiles.....	92
Gambar 3. 88 Tampilan Halaman Join OTAA.....	93
Gambar 3. 89 Tampilan Application.....	93
Gambar 3. 90 Tampilan Formulir Penambahan Application.....	93
Gambar 3. 91 Tampilan Pengelompokkan Perangkat Akhir.....	94
Gambar 3. 92 Tampilan Halaman Pendaftaran Perangkat Akhir.....	94
Gambar 3. 93 Navigasi untuk Tombol Refresh.....	95
Gambar 3. 94 Tampilan Penentuan Pengelompokkan <i>End device</i>	95
Gambar 3. 95 Tampilan Pengenerate Karakter Join OTAA.....	95
Gambar 3. 96 Tampilan <i>Preferences Arduino IDE</i>	96
Gambar 3. 97 Tampilan Pencarian <i>Board</i> Heltec.....	97
Gambar 3. 98 Pemilihan dan Pengenalan <i>Board</i> Heltec WiFi LoRa V3.....	97
Gambar 3. 99 Tampilan Pemilihan Port.....	98
Gambar 3. 100 Tampilan <i>Library Manager</i>	98
Gambar 3. 101 Pengaksesan Example LoRaWAN Untuk Heltec WiFi V3.....	99
Gambar 3. 102 Tampilan Example di Jendela Arduino Baru.....	99
Gambar 3. 103 Tampilan Tools Pengaturan LoRaWAN.....	100
Gambar 3. 104 Tampilan Serial Monitor Setelah Upload Sketch.....	100
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai SF dengan Waktu Join.....	112
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Prediksi dan Observasi.....	112
Gambar 4.3 Grafik Nilai Observasi.....	113

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) mendorong kebutuhan akan sistem komunikasi jarak jauh yang efisien, berdaya rendah, dan mampu menjangkau area luas. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah LoRa (*Long Range*) yang dibangun menggunakan protokol LoRaWAN dengan dukungan komunikasi data berkecepatan rendah dengan konsumsi daya minim mencapai 0,2 uA sampai 120 mA (Pebrian, 2025)(Sanubari et al., 2025).

LoRa (*Long Range*) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk mendukung kebutuhan *Internet of Things* (IoT) dengan karakteristik konsumsi daya rendah dan laju data (*bitrate*) yang relatif kecil. Teknologi ini memungkinkan transmisi data digital dalam jangkauan yang luas dengan efisiensi energi yang tinggi (Hadiningrum et al., n.d.).

Dalam implementasinya, LoRa mampu menghubungkan perangkat hingga jarak sekitar 10–40 km pada wilayah pedesaan dan sekitar 1–5 km di wilayah perkotaan, sehingga sangat sesuai digunakan pada aplikasi IoT yang memerlukan cakupan area luas dengan penggunaan daya yang minim (Rahmansyah & Murdiyat, n.d.) (Fahmida, 2026).

Dengan memanfaatkan protokol LoRaWAN, teknologi ini banyak diterapkan untuk mendukung berbagai aplikasi dunia nyata, antara lain pemantauan dan pengendalian lingkungan, mitigasi bencana, pengelolaan energi, efisiensi pemanfaatan sumber daya alam, penangkapan citra statis serta sistem otomasi (Wei & Transmission, 2021)(Sendra et al., 2020).

LoRaWAN adalah protokol komunikasi bekerja pada lapisan jaringan diatas LoRa, dirancang untuk mendukung komunikasi antara banyak perangkat akhir dan *gateway* secara bersamaan (Nessa et al., 2020). LoRaWAN memiliki empat komponen utama di antaranya *end device*, *gateway*, *network server* dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

application server yang saling terhubung untuk memastikan perangkat dapat mengirimkan, meneruskan dan mengelola datanya.

Berdasarkan observasi awal pada mata kuliah komputasi pervasif, pembelajaran LoRaWAN di lingkungan tersebut sama sekali belum disinggung hanya terbatas bagi para mahasiswa untuk membangun komunikasi LoRa *point to point* lalu memvisualisasikannya melalui halaman lokal berbasis HTML. Pendekatan ini menunjukkan belum mendalamnya bagi para mahasiswa mengenal jaringan LoRa yang dibangun, dikelola untuk skala yang lebih luas seperti mendaftarkan perangkat, pengelolaan *server* dan integrasi data seperti yang diterapkan pada arsitektur LoRaWAN.

LoRaWAN telah mendapat sambutan luas dan sudah digunakan di berbagai lingkungan manusia tetapi kebutuhan pemahaman dalam melakukan perancangan dan implementasi infrastruktur jaringan LoRaWAN cukup terbatas untuk diketahui di sisi pendidikan vokasional dan akademik. Meskipun telah banyak penelitian yang membahas implementasi LoRaWAN, sebagian besar di antaranya masih berfokus pada aspek konfigurasi teknis semata. Penelitian-penelitian tersebut belum disusun dalam bentuk bahan ajar yang sistematis dan terstruktur untuk kebutuhan pembelajaran.

Penyediaan bahan ajar yang komprehensif akan membantu mahasiswa memperoleh pemahaman yang lebih utuh mengenai proses pembangunan infrastruktur LoRaWAN. Melalui pendekatan tersebut, mahasiswa dapat mempelajari proses instalasi, konfigurasi, integrasi, dan pengelolaan layanan *server* secara mandiri.

Beberapa penelitian sebelumnya berfokus pada implementasi LoRaWAN untuk monitoring lingkungan, *smart agriculture*, maupun sistem telemetri. Namun penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada aspek implementasi sistem dan belum menyediakan panduan pembelajaran yang membahas pembangunan infrastruktur *server* LoRaWAN secara menyeluruh menggunakan Chirpstack *on-premise*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pemilihan Chirpstack sebagai platform LoRaWAN karena sifatnya yang *open-source* dan telah banyak digunakan secara luas, mampu diimplementasikan secara *on-premise*, serta menyediakan fleksibilitas konfigurasi yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran dan penelitian.

Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan dengan merancang dan membangun panduan implementasi pembangunan layanan *server* LoRa *on-premise* berbasis Chirpstack. Sebuah media pembelajaran perlu dibentuk dan dirancang secara sistematis dan aplikatif dalam memfasilitasi proses pembelajaran Chirpstack yang diharapkan mampu membantu mahasiswa mengenal ekosistem LoRaWAN dimulai dari konfigurasi, integrasi dan memahami alur komunikasi datanya.

Dengan adanya modul pembelajaran, mahasiswa tidak hanya mampu mengoperasikan perangkat namun memahami prinsip kerja, pengelolaan layanan serta keseluruhan aspek teknis jaringan LoRaWAN secara komprehensif, mulai dari perangkat *end node*, *gateway*, *server*, hingga aplikasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pembelajaran *IoT*, khususnya pada bidang jaringan komunikasi nirkabel berdaya rendah, serta menjadi referensi bagi pengembangan modul praktikum LoRaWAN yang mandiri, terstruktur, dan aplikatif di lingkungan pendidikan.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang ada pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang, menginstal, dan mengonfigurasi infrastruktur LoRaWAN berbasis Chirpstack *on-premise* yang mencakup *network server*, *application server*, *PostgreSQL*, *Redis*, dan *MQTT* sebagai modul praktikum?
2. Bagaimana mekanisme integrasi antara *gateway* LoRaWAN dengan *server* Chirpstack *on-premise* sehingga data dari *end node* dapat diterima, dikelola, dan ditampilkan dengan baik?
3. Bagaimana performa dan keberhasilan fungsi dari masing-masing komponen Chirpstack *on-premise*, yang meliputi pengujian proses join



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

OTAA pada *network server*, pengujian integrasi *MQTT* pada *application server*, serta pengujian konektivitas *gateway bridge* dalam meneruskan data dari *end node* ke *server*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini diantaranya adalah:

1. Merancang, menginstal, dan mengonfigurasi infrastruktur LoRaWAN berbasis Chirpstack *on-premise* yang mencakup *network server*, *application server*, *PostgreSQL*, *Redis*, dan *MQTT* sebagai modul praktikum.
2. Mengimplementasikan mekanisme integrasi antara *gateway* LoRaWAN dengan *server* Chirpstack *on-premise*, sehingga data dari *end node* dapat diterima, dikelola, dan ditampilkan dengan baik.
3. Menganalisis performa dan keberhasilan fungsi dari masing-masing komponen Chirpstack *on-premise*, meliputi pengujian proses join OTAA pada *network server*, pengujian integrasi *MQTT* pada *application server*, serta pengujian konektivitas *gateway bridge* dalam meneruskan data dari *end node* ke *server*.

1.4. Luaran

Luaran yang dihasilkan dari penelitian skripsi meliputi beberapa aspek:

- a. Sistem atau Infrastruktur *Server*

Penelitian ini menghasilkan sebuah infrastruktur layanan *server* LoRaWAN *on-premise* berbasis Chirpstack yang dibangun dan dikonfigurasi pada lingkungan laboratorium. Sistem *server* yang dikembangkan mencakup komponen utama LoRaWAN, seperti *network server*, *application server*, *database*, serta *broker MQTT*, yang terintegrasi dengan *gateway* LoRaWAN. Infrastruktur ini mampu menerima, memproses, dan menampilkan data yang dikirimkan oleh perangkat *end node* secara terpusat, sehingga dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran dan praktikum jaringan IoT.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

b. Modul Praktikum

Penelitian ini menghasilkan sebuah modul praktikum yang disusun secara sistematis dan aplikatif, berisi panduan instalasi, konfigurasi, dan integrasi layanan *server* LoRaWAN *on-premise* berbasis Chirpstack dengan *gateway*. Modul praktikum ini dirancang untuk digunakan dalam kegiatan pembelajaran di laboratorium, sehingga mahasiswa dapat memahami alur komunikasi data LoRaWAN secara menyeluruh, mulai dari *gateway* hingga *server* dan aplikasi monitoring.

c. Laporan Skripsi

Seluruh rangkaian penelitian menghasilkan dokumentasi tertulis dalam bentuk laporan skripsi yang disusun secara sistematis sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

d. Artikel Ilmiah

Penelitian ini juga menghasilkan sebuah artikel ilmiah yang dirancang untuk dipresentasikan dan diseminarkan pada Seminar Nasional Teknik Elektro.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bab V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengkonfigurasi, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Infrastruktur LoRaWAN berbasis Chirpstack on-premise berhasil dirancang, diinstal, dan dikonfigurasi pada *server* fisik *IBM System x3650 M4* menggunakan Proxmox sebagai *hypervisor*, dengan seluruh komponen pendukung yaitu *network server*, *application server*, *PostgreSQL*, *Redis*, dan *broker MQTT (Mosquitto)* berhasil dijalankan dalam bentuk kontainer *Docker Compose*, sehingga infrastruktur ini dapat difungsikan sebagai modul praktikum pembelajaran LoRaWAN secara on-premise.
2. Integrasi antara *gateway SenseCAP M2* dengan *server* Chirpstack on-premise berhasil diimplementasikan melalui *Gateway bridge*, yang terbukti mampu meneruskan paket *uplink* maupun *downlink* secara penuh melalui protokol *MQTT*, serta mempublikasikan event join dan event *uplink* pada *application server* tanpa ditemukan kegagalan pada seluruh sesi pengujian.
3. Pengujian join OTAA pada seluruh konfigurasi SF7 hingga SF12 (BW 125 kHz) mencapai *success rate* 100% dari 90 percobaan, dengan *Join Duration* meningkat konsisten dari 5.127 ms pada SF7 hingga 7.832 ms pada SF12, nilai MAPE model prediksi ToA sebesar 2,04 % pada kondisi serta anomali pada SF11 (+690 ms) yang mengindikasikan penggunaan jendela RX2.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa infrastruktur LoRaWAN berbasis Chirpstack on-premise berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik pada seluruh skenario pengujian.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran penelitian yang bisa dijadikan pengembangan bagi peneliti selanjutnya. Saran tersebut diantaranya:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi jarak komunikasi antara *end device* dan *gateway*, baik pada kondisi Line of Sight (LOS) maupun Non-Line of Sight (NLOS), guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh jarak terhadap *Join Duration* dan kualitas sinyal pada sistem LoRaWAN on-premise.
2. Pengujian integrasi *MQTT* pada *Application server* dan pengujian *Gateway bridge* pada penelitian ini bersifat kualitatif, yaitu hanya mengamati keberhasilan publikasi pesan tanpa mengukur parameter performa secara numerik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan pengukuran kuantitatif, seperti latensi distribusi pesan *MQTT* dan *throughput* data pada *Gateway bridge*, untuk melengkapi evaluasi performa infrastruktur secara menyeluruh.
3. Pengujian pada penelitian ini masih terbatas dalam ruang lingkup laboratorium. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian pada kondisi dengan padat aktifitas, jarak yang cukup serta kondisi cuaca guna mengevaluasi kestabilan infrastruktur Chirpstack on-premise dalam periode operasional yang lebih lama, termasuk pengamatan terhadap potensi kegagalan layanan maupun kebutuhan pemeliharaan sistem secara berkala.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. T. (2023). *On Private Server Implementations and Data Visualization for LoRaWAN*. 1–6.
- Ariyanto, Y. (2023). *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications RESEARCH ARTICLE SINGLE SERVER-SIDE AND MULTIPLE VIRTUAL SERVER-SIDE ARCHITECTURES : PERFORMANCE ANALYSIS ON PROXMOX VE FOR E- LEARNING SYSTEMS*. 25–34.
- Fahmida. (2026). *Handling Coexistence of LoRa with Other Networks through Embedded Reinforcement Learning*. January.
<https://doi.org/10.1145/3576842.3582383>
- Fikhri, A. A., Ula, M., Sayuti, M., Teknik, F., Malikussaleh, U., & Korespondensi, P. (2025). *PROTOKOL MQTT DAN HTTP DENGAN NOTIFIKASI TELEGRAM BERBASIS INTERNET OF THINGS CLASSROOM COMFORT MONITORING SYSTEM USING MQTT AND HTTP PROTOCOLS WITH TELEGRAM NOTIFICATIONS BASED ON THE INTERNET OF*. 12(5), 1197–1208.
- Hadiningrum, D. S., Putu, I. G., Ww, W., & Arimbawa, I. W. A. (n.d.). *ANALISIS PENGARUH JARAK TERHADAP DELAY DAN PACKET DELIVERY RATIO (PDR) PADA JARINGAN LORA UNTUK KOMUNIKASI DATA IRIGASI TETES (Studi Kasus : Dusun Amor-Amor) (ANALYSIS OF THE EFFECT OF DISTANCE ON DELAY AND PACKET DELIVERY RATIO (PDR) IN LORA NETWORKS FOR DRIP IRRIGATION DATA COMMUNICATION (Case Study : Amor-Amor Hamlet))*.
- Hendriks, J., Azarm, M., & Dumond, P. (2024). *Structured Data Ontology for AI in Industrial Asset Condition Monitoring*.
- Hilyati, D. (2023). *SISTEM PEMANTAUAN ENERGI METER DENGAN WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) BERBASIS KOMUNIKASI LORA BANGKA BELITUNG TAHUN 2023 SISTEM PEMANTAUAN ENERGI METER DENGAN WIRELES SENSOR NETWORK (WSN) BERBASIS*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KOMUNIKASI LORA.

- Idrus, A. (2021). *Designing High Availability Cluster Using Server Virtualization on Cloud Storage Services*. 5(36), 93–98.
- Jeyaraj, M. N., Sucharitharathna, S., Senarath, C., Kanagaraj, Y., & Udayakumara, I. (n.d.). *Cognitive Visual-learning Environment for PostgreSQL*. 1–10.
- Judvaitis, J., Orlovs, D., Rusins, A., & Skrastin, V. (2025). *LPWAN Technologies for IoT : Real-World Deployment Performance and Practical Comparison*. 1–20.
- Kanthed, S. (2023). *Redis vs . Memcached in Microservices Architectures : Caching Strategies*. 1084–1091.
- Khalilnasl, H., Ferrari, P., & Flammini, A. (2025). *On the Use of Containers for LoRaWAN Node Virtualization : Practice and Performance Evaluation*.
- Kufakunesu, R., Hancke, G. P., & Abu-mahfouz, A. M. (2023). *Evaluating the Impact of the Adaptive data rate Algorithm in LoRaWAN*. 274–278.
- Li, C., & Cao, Z. (2022). *LoRa Networking Techniques for Large-scale and Long-term IoT : A Down-to-top Survey*. 55(3).
- Moratelli, C., Johann, S., Hessel, F., & Neves, M. (n.d.). *Invited Talk Paper Embedded Virtualization for the Design of Secure IoT Applications*. 2–6.
- Musonda, S. K., & Ndiaye, M. (2024). *Reliability of LoRaWAN Communications in Mining Environments : A Survey on Challenges and Design Requirements*.
- Nessa, A., Hussain, F., & Fernando, X. (2020). *Adaptive Latency Reduction in LoRa for Mission Critical Communications in Mines*.
- Pebrian, D. D. (2025). *ALAT UKUR SINYAL LORA UNTUK MENGETAHUI JANGKAUAN ANTARA END DEVICE DENGAN GATEWAY*. 13(1).
- Privalov, M. V., & Stupina, M. V. (2024). *Improving web-oriented information systems efficiency using Redis caching mechanisms*. 33(3), 1667–1675.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1667-1675>

- Rahmansyah, F., & Murdiyat, P. (n.d.). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Pertanian Cerdas Berbasis LoRa Untuk Pemantauan Kondisi*. xx(xx), 50–62.
- Rev, D., & Automation, H. (2022). *WiFi LoRa 32 V3.2 LoRa Node Development Kit*.
- Ron, D., Lee, C., Lee, K., Choi, H., Member, S., & Lee, J. (2020). *Performance Analysis and Optimization of Downlink Transmission in LoRaWAN Class B Mode*. 4662(c), 1–12. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2994958>
- Sanubari, A., Indriyanto, S., & Pramono, S. (2025). *Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT Dan WSN Untuk Mendeteksi Pencemaran Udara*. 3(1), 1–9.
- Seller, O. (2021). *LoRaWAN Link Layer*. 9, 1–12. <https://doi.org/10.13052/jicts2245-800X.911>
- Sendra, S., Garc, L., Lloret, J., Bosch, I., & Vega-rodr, R. (2020). *LoRaWAN Network for Fire Monitoring in Rural Environments*.
- Syafa, E., Nashir, M. N., & Fathurahman, M. (2026). *Evaluasi Protokol Komunikasi berbasis Web dan Non-Web pada IoT : Tinjauan Literatur Sistematis Web-based and Non-Web-based IoT Communication Protocols : A Systematic Literature Review*. 16(1), 70–81.
- Theodorus, Visser, I. (2024). *SISTEM KOMUNIKASI MULTINODE LORA DENGAN GATEWAY LORAWAN DI AREA PESISIR PANTAI*.
- Urnikien, J. (2026). *Comparative Read Performance Analysis of PostgreSQL and MongoDB in E-Commerce : An Empirical Study of Filtering and Analytical Queries*. 1–23.
- Wei, C., & Transmission, A. L. I. (2021). *A study on LoRa Dynamic Image Transmission*. 15–18.
- Wolters, A., & Riehle, D. M. (2023). *On-Premise Internet of Things (IoT) Data Storage : Comparison of Database Management Systems*. *IoT BDS*, 140–149.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<https://doi.org/10.5220/0011851200003482>

Chirpstack open-source LoRaWAN® *Network server*. (n.d.). Chirpstack Documentation. Retrieved from <https://www.Chirpstack.io/>

The Things Network. (n.d.). LoRaWAN Architecture. Retrieved from <https://www.thethingsnetwork.org/docs/LoRaWAN/architecture/>

Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang penggunaan spektrum frekuensi radio berdasarkan izin kelas. <https://jdih.kominfo.go.id/>

Seed Studio. (n.d.). *SenseCAP multi-platform LoRaWAN indoor gateway (SX1302)–US915*.

[SenseCAP Gateway Page](#)

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RIWAYAT HIDUP



Rakesh Sharma Pramujio, lahir di Jakarta pada 05 Juni 2004 merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Memulai Pendidikan tingkat dasar di SDI Al-Abidin dari tahun 2010 sampai tahun 2016. Melanjutkan Pendidikan tingkat menengah di SMPN 148 Jakarta hingga tahun 2019. Kemudian dilanjutkan ke tingkat atas di SMAN 54 Jakarta dan lulus pada tahun 2022. Penulis masih menjalani studi berikutnya di Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Broadband Multimedia.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

1. Sketch yang digunakan didalam scenario percobaan Join OTAA

```
#include<RadioLib.h>
```

```
#include<Preferences.h>
```

```
/*=====
```

KONFIGURASIPENGUJIAN

```
=====
```

GantiTEST_DRsebelumuploadulanguntuktitikberikutnya:

TEST_DR=0->DR0=SF12,BW125

TEST_DR=1->DR1=SF11,BW125

TEST_DR=2->DR2=SF10,BW125

TEST_DR=3->DR3=SF9,BW125

TEST_DR=4->DR4=SF8,BW125

TEST_DR=5->DR5=SF7,BW125

TEST_DR=6->DR6=SF7,BW250<-satu-satunyaititik

perbandinganBWmurni

(SFsamadenganDR5)

CATANPENTING:

-node.setDwellTime(false)dibawahinisengajamenonaktifkan

batasdwelltime400ms,supayaDR0-DR2(SFbesar)tidak

ditolakradio.Pastikansetting"UplinkDwellTime"di

regionAS923_2ChirpstackJUGAdinonaktifkan,supayakedua

sisikonsisten.

-APIRadioLibbisasedikitberbedaaantarversi.Kalauada

errorcompilepadanode.setDatarate/node.setDwellTime/



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

node.setADR,bukaFile>Examples>RadioLib>LoRaWAN>
LoRaWAN_Starterbawaanversiyangterpasangdancocokkan
namafungsinya.

=====*/

uint8_tTEST_DR=6;//<--GANTISESUAITITIKYANGDIUJI
constuint16_tMAX_REPETITION=45;//jumlahrepetisipertitikDR

/*=====*/

//PinHeltec WiFi LoRa 32 V3(SX1262):NSS,DIO1,RESET,BUSY
SX1262radio=newModule(8,14,12,13);

constLoRaWANBand_tRegion=AS923;
constuint8_tsubBand=0;//AS923=dynamicband,subBandtidakrelevan,isi0

//GANTIsesuaideviceyangterdaftardiChirpstack
uint64_tdevEUI=0x3aca72aba49f8610;
uint64_tjoinEUI=0x787038b69fd5c22e;//GANTIsesuaidevice
uint8_tappKey[]={0x00,0xad,0x8a,0x38,0x26,0xab,0x26,0x7d,
0x8f,0x92,0xdf,0x50,0xef,0x01,0xab,0x47};

/*ABPpara*/
uint8_tnwkKey[]={
0x00,0xad,0x8a,0x38,0x26,0xab,0x26,0x7d,
0x8f,0x92,0xdf,0x50,0xef,0x01,0xab,0x47
};

LoRaWANNodenode(&radio,&Region,subBand);

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Preferencesprefs;

StringprefsKey;

uint16_tcurrentRep=0;

constchar*drName(uint8_tdr){
switch(dr){
case0:return"DR0_SF12_BW125";
case1:return"DR1_SF11_BW125";
case2:return"DR2_SF10_BW125";
case3:return"DR3_SF9_BW125";
case4:return"DR4_SF8_BW125";
case5:return"DR5_SF7_BW125";
case6:return"DR6_SF7_BW250";
default:return"UNKNOWN";
}
}

voidsetup()
{
Serial.begin(115200);
delay(2000);//beriwaktuSerialMonitortersambungsetelahboot

//counterrepetisidisimpanper-DR,jadigantiTEST_DRotomatis
//mulaidari0lagitanpaperluresetmanual

prefsKey=String("rep_")+String(TEST_DR);
prefs.begin("jointest",false);
currentRep=prefs.getUShort(prefsKey.c_str(),0);

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Serial.println();
Serial.println("=====");
Serial.println("RadioLibOTAAJOINTTEST(AS923-2)");
Serial.print("Titikdiuji:");Serial.println(drName(TEST_DR));
Serial.print("Repetisike-:");
Serial.print(currentRep+1);
Serial.print("/");
Serial.println(MAX_REPETITION);
Serial.println("=====");

if(currentRep>=MAX_REPETITION){
  Serial.println("PengujianuntuktitikDRiniSUDAHSELESAI(20/20).");
  Serial.println("GantiTEST_DRketitikberikutnya,laluuploadulang.");
  while(true){delay(5000);}
}

int16_tstate=radio.begin();
Serial.print("radio.begin()=");
Serial.println(state);

if(state!=RADIOLIB_ERR_NONE){
  Serial.print(F("InisialisasiradioGAGAL,kode:"));
  Serial.println(state);
  delay(3000);
  esp_restart();
}

//matikanbatasdwelltime400ms

Serial.println("===OTAAPARAMETER===");

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.printf("DevEUI:%016lX\r\n",devEUI);
Serial.printf("JoinEUI:%016lX\r\n",joinEUI);
Serial.print("DR:");
Serial.println(TEST_DR);
Serial.println("=====");

state=node.beginOTAA(joinEUI,devEUI,nwkKey,appKey);
Serial.print("beginOTAA()=");
Serial.println(state);

//SemuakonfigurasinodeHARUSsetelahbeginOTAA()
node.setADR(false);
node.setDwellTime(false,0);

node.scanGuard=200;//false=nonaktifkan,0=nolimit

state=node.setDatarate(TEST_DR);
Serial.print("setDatarate()=");
Serial.println(state);

delay(2000);//kunciDR/SF/BWuntukJoin Requestini

Serial.println(F("MengirimJoin Request..."));
unsignedlongjoinRequestTime=millis();

Serial.println("ACTIVATINGOTAA...");

state=node.activateOTAA();
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
node.setDwellTime(false,0);
```

```
Serial.print("activateOTAA()return=");
```

```
Serial.println(state);
```

```
unsignedlongjoinAcceptTime=millis();
```

```
unsignedlongdurationMs=joinAcceptTime-joinRequestTime;
```

```
Serial.print(F("Join RequestTimestamp:"));Serial.println(joinRequestTime);
```

```
if(state==RADIOLIB_LORAWAN_NEW_SESSION){
```

```
Serial.print(F("Join AcceptTimestamp:"));Serial.println(joinAcceptTime);
```

```
Serial.print(F("Join Duration(ms):"));Serial.println(durationMs);
```

```
Serial.print("HASIL,");
```

```
Serial.print(drName(TEST_DR));
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(currentRep+1);
```

```
Serial.print(",SUKSES,");
```

```
Serial.println(durationMs);
```

```
}else{
```

```
Serial.print(F("JoinGAGAL,kodeerror:"));Serial.println(state);
```

```
Serial.print("HASIL,");
```

```
Serial.print(drName(TEST_DR));
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(currentRep+1);
```

```
Serial.print(",GAGAL,");
```

```
Serial.println(state);
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

}

Serial.println("-----");

//simpanprogres(baiksuksesmaupungagal,supayatetapmaju
//repetisiberikutnyadantidakterjebakdititikyangsama)
prefs.putUShort(prefsKey.c_str(),currentRep+1);

while(true){
  delay(1000);
}
}

voidloop()
{
  //sengajadikosongkan-tiappercobaan=satucoldbootpenuh,
  //semualogikapengujiansudahdieksekusisekalidisetup()
}

```

2. Data Setiap SF dalam Skenario Percobaan Join OTAA

2.1.Data SF 7

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Request	Join Accept	Join Duration	Status
1	2026-06-24 11:46:00	7	5	125	923200000	4160	9287	5127	Berhasil
2	2026-06-24 11:47:42	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
3	2026-06-24 11:49:45	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4	2026-06-24 11:52:55	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
5	2026-06-24 11:54:38	7	5	125	923200000	4160	9287	5127	Berhasil
6	2026-06-24 11:56:14	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
7	2026-06-24 11:58:11	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
8	2026-06-24 12:00:06	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
9	2026-06-24 12:02:04	7	5	125	923200000	4160	9287	5127	Berhasil
10	2026-06-24 12:04:05	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
11	2026-06-24 12:06:03	7	5	125	923200000	4160	9287	5127	Berhasil
12	2026-06-24 12:08:04	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
13	2026-06-24 12:10:09	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
14	2026-06-24 12:12:11	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

15	2026-06-24 12:14:04	7	5	125	923400000	4160	9287	5127	Berhasil
----	------------------------	---	---	-----	-----------	------	------	------	----------

2.2.Data SF 8

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Request	Join Accept	Join Duration	Status
1	2026-06-24 12:16:16	8	4	125	923200000	4160	9381	5221	Berhasil
2	2026-06-24 12:18:05	8	4	125	923200000	4160	9381	5221	Berhasil
3	2026-06-24 12:20:05	8	4	125	923400000	4160	9381	5221	Berhasil
4	2026-06-24 12:22:05	8	4	125	923200000	4160	9381	5221	Berhasil
5	2026-06-24 12:24:04	8	4	125	923400000	4160	9381	5221	Berhasil
6	2026-06-24 12:26:06	8	4	125	923200000	4159	9380	5221	Berhasil
7	2026-06-24 12:28:06	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil
8	2026-06-24 12:30:03	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil
9	2026-06-24 12:32:10	8	4	125	923200000	4159	9380	5221	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

10	2026-06-24 12:34:18	8	4	125	923200000	4159	9380	5221	Berhasil
11	2026-06-24 12:36:03	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil
12	2026-06-24 12:38:03	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil
13	2026-06-24 12:40:05	8	4	125	923200000	4159	9380	5221	Berhasil
14	2026-06-24 12:42:07	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil
15	2026-06-24 12:44:04	8	4	125	923400000	4159	9380	5221	Berhasil

2.3.Data SF 9

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Request	Join Accept	Join Duration	Status
1	2026-06-24 12:46:00	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil
2	2026-06-24 12:48:03	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
3	2026-06-24 12:50:04	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil
4	2026-06-24 12:52:06	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5	2026-06-24 12:54:05	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
6	2026-06-24 12:56:05	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
7	2026-06-24 12:58:03	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil
8	2026-06-24 13:00:07	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
9	2026-06-24 13:02:03	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
10	2026-06-24 13:04:04	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil
11	2026-06-24 13:06:07	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
12	2026-06-24 13:08:04	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
13	2026-06-24 13:10:03	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil
14	2026-06-24 13:12:04	9	3	125	923400000	4159	9546	5387	Berhasil
15	2026-06-24 13:14:07	9	3	125	923200000	4159	9546	5387	Berhasil

2.4.Data SF 10



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Request	Join Accept	Join Duration	Status
1	2026-06-24 13:37:05	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
2	2026-06-24 13:39:12	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
3	2026-06-24 13:41:04	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
4	2026-06-24 13:43:03	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil
5	2026-06-24 13:45:06	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil
6	2026-06-24 13:47:05	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
7	2026-06-24 13:49:04	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
8	2026-06-24 13:51:04	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil
9	2026-06-24 14:53:01	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
10	2026-06-24 14:55:06	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
11	2026-06-24 14:57:04	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

12	2026-06-24 14:59:04	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil
13	2026-06-24 15:01:05	10	2	125	923400000	4159	9879	5720	Berhasil
14	2026-06-24 15:03:06	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil
15	2026-06-24 15:05:07	10	2	125	923200000	4159	9879	5720	Berhasil

2.5.Data SF 11

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Request	Join Accept	Join Duration	Status
1	2026-06-24 16:37:15	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil
2	2026-06-24 16:39:06	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil
3	2026-06-24 16:41:04	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil
4	2026-06-24 16:43:07	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil
5	2026-06-24 16:45:04	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil
6	2026-06-24 16:47:06	11	1	125	923200000	4151	11324	7173	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7	2026-06-24 16:49:05	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
8	2026-06-24 16:51:05	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
9	2026-06-24 16:53:09	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
10	2026-06-24 16:55:08	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
11	2026-06-24 16:57:07	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
12	2026-06-24 16:59:07	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
13	2026-06-24 17:01:06	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
14	2026-06-24 17:03:06	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil
15	2026-06-24 17:05:06	11	1	125	923200000	4151	1132 4	7173	Berhasil

2.6.Data SF 12

NO	Time Stamp	SF	DR	BW	Kanal	Join Reque st	Join Acce pt	Join Dura tion	Status
1	2026-06-24 17:13:10	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	2026-06-24 17:15:07	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
3	2026-06-24 17:17:06	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
4	2026-06-24 17:19:06	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
5	2026-06-24 17:21:09	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
6	2026-06-24 17:23:09	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
7	2026-06-24 17:25:13	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
8	2026-06-24 17:27:13	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
9	2026-06-24 17:29:25	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
10	2026-06-24 17:31:14	12	0	125	923200000	4151	1198 3	7832	Berhasil
11	2026-06-24 17:33:10	12	0	125	923200000	4151	1132 4	7832	Berhasil
12	2026-06-24 17:35:05	12	0	125	923200000	4151	1132 4	7832	Berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

13	2026-06-24 17:37:11	12	0	125	923200000	4151	11324	7832	Berhasil
14	2026-06-24 17:39:09	12	0	125	923200000	4151	11324	7832	Berhasil
15	2026-06-24 17:41:06	12	0	125	923200000	4151	11324	7832	Berhasil

2.7. Gambar Hasil Pengujian *Gateway bridge* (*Mosquitto_sub -h localhost -t "as923/gateway/+event/stats" -v*)

```

Cubuntu@chirpstack-vm:~$ mosquitto_sub -h localhost -t "as923/gateway/+/event/stats" -v
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/stats      A+++++R
model
    seed_wm1302R
concentrator_temp33.8125R
concentrator_version4.5.0R

hal_versionVersion: 2.1.0;R
mqtt_forwarder_version4.4.0R
config_version98b2cd06129f459q+q+z

**
(z
**
(z
**
(*0016c001f10a6de4

```

2.8. Gambar Hasil Pengujian *Gateway bridge* (*Mosquitto_sub -h localhost -t "as923/gateway/+/event/up" -v*)

```
ubuntu@chirpstack-vms:~$ mosquitto_sub -h localhost -t "as923/gateway/+/event/up" -v
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/up
@R+000+0+cW5s090q0
++*1
0016c001f10a6de4+C00++++++=PAj0+B0
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/up
@/x_K01$DI0+0h0+
++
++*3
0016c001f10a6de40+00++++++=A@j0++S0
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/up
@0k0++I0Z.0++00q0
++
C09
0016c001f10a6de400P0++++++="Aj00860
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/up
@00+i0++00e*na0A0+
++
++*3
0016c001f10a6de400000++++++=\A@j0,00
as923/gateway/0016c001f10a6de4/event/up
@/x`X+n0O00h00q0
```

2.9. Gambar Hasil Pengujian Integrasi *MQTT* (*Mosquitto_sub -h localhost -t "application/+device/+event/up" -v*)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
*Cubuntu@chirpstack-vm:~$ mosquitto_sub -h localhost -t "application/+device/+event/up" -v
application/5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77/device/24b08fc43da9a9c2/event/up {"deduplicationId":"0f257aa1-d42d-45ae-a29e-50469f321032","time":"2026-06-29T09:54:42.075415341+00:00","deviceInfo":{"tenantId":"efe6bc18-fb0e-45dd-9aaa-881a1b65e85c","tenantName":"gateway","applicationId":"5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77","applicationName":"endnodeA","deviceProfileId":"67760274-cb12-467e-b7d0-f46d4f2483fd","deviceProfileName":"endnode(Eka)","deviceName":"Monitoring_ruangan","devEui":"24b08fc43da9a9c2","deviceClassEnabled":"CLASS_A","tags":{"devAddr":"016b069c","adr":false,"dr":2,"fCnt":28,"fPort":2,"confirmed":false,"data":{"CtIYVgCBACQA","object":{"cahaya":129.0,"suara":45.2,"kipas":0.0,"suhu":27.7,"kelembaban":62.3,"node":"Node_1"},"rxInfo":{"gatewayId":"0016c001f10a6de4","uplinkId":"3344738744","nsTime":"2026-06-29T09:54:41.864705234+00:00","rssi":-29,"snr":12.25,"channel":1,"location":{"context":{"AvZRvg==","crcStatus":"CRC_OK"}},txInfo":{"frequency":923400000,"modulation":{"lora":{"bandwidth":125000,"spreadingFactor":10,"codeRate":"CR_4_5"}}},"regionConfigId":"as923"}},application/5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77/device/c95c43e17dbfe698/event/up {"deduplicationId":"dc048efd-ae39-478b-bf01-e29aec0c689d","time":"2026-06-29T09:54:44.850012901+00:00","deviceInfo":{"tenantId":"efe6bc18-fb0e-45dd-9aaa-881a1b65e85c","tenantName":"gateway","applicationId":"5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77","applicationName":"endnodeA","deviceProfileId":"67760274-cb12-467e-b7d0-f46d4f2483fd","deviceProfileName":"endnode(Eka)","deviceName":"kualitas_udara","devEui":"c95c43e17dbfe698","deviceClassEnabled":"CLASS_A","tags":{"devAddr":"0078b72f","adr":false,"dr":0,"fCnt":365,"fPort":2,"confirmed":false,"data":{"AZEAawAAAA==","object":{"co2":401.0,"co":0.03,"node":"Node_2","buzzer":0.0,"partikel_debu":0.0},"rxInfo":{"gatewayId":"0016c001f10a6de4","uplinkId":"3010562320","nsTime":"2026-06-29T09:54:44.639271778+00:00","rssi":-48,"snr":8.75,"location":{"context":{"AyB5sA==","crcStatus":"CRC_OK"}},txInfo":{"frequency":923200000,"modulation":{"lora":{"bandwidth":125000,"spreadingFactor":12,"codeRate":"CR_4_5"}}},"regionConfigId":"as923"}},application/5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77/device/c95c43e17dbfe698/event/up {"deduplicationId":"1ab652e9-9091-49fc-8ddf-a3495b5cfac1","time":"2026-06-29T09:54:55.722029531+00:00","deviceInfo":{"tenantId":"efe6bc18-fb0e-45dd-9aaa-881a1b65e85c","tenantName":"gateway","applicationId":"5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77","applicationName":"endnodeA","deviceProfileId":"67760274-cb12-467e-b7d0-f46d4f2483fd","deviceProfileName":"endnode(Eka)","deviceName":"kualitas_udara","devEui":"c95c43e17dbfe698","deviceClassEnabled":"CLASS_A","tags":{"devAddr":"0078b72f","adr":false,"dr":0,"fCnt":366,"fPort":2,"confirmed":false,"data":{"AZEAawAAAA==","object":{"partikel_debu":0.0,"node":"Node_2","co2":401.0,"buzzer":0.0,"co":0.03},"rxInfo":{"gatewayId":"0016c001f10a6de4","uplinkId":"4224094930","nsTime":"2026-06-29T09:54:55.510999565+00:00","rssi":-47,"snr":8.75,"location":{"context":{"A8Zreg==","crcStatus":"CRC_OK"}},txInfo":{"frequency":923200000,"modulation":{"lora":{"bandwidth":125000,"spreadingFactor":12,"codeRate":"CR_4_5"}}},"regionConfigId":"as923"}}
```

2.10. Gambar Hasil Pengujian Integrasi MQTT (*Mosquitto_sub -h localhost -t "application/+device/+event/join" -v*)

```
*Cubuntu@chirpstack-vm:~$ mosquitto_sub -h localhost -t "application/+device/+event/up" -v
application/5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77/device/24b08fc43da9a9c2/event/up {"deduplicationId":"bdc70a21-af85-47cd-86df-d95e4f6e4d0","time":"2026-06-29T09:54:53.115334197+00:00","deviceInfo":{"tenantId":"efe6bc18-fb0e-45dd-9aaa-881a1b65e85c","tenantName":"gateway","applicationId":"5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77","applicationName":"endnodeA","deviceProfileId":"67760274-cb12-467e-b7d0-f46d4f2483fd","deviceProfileName":"endnode(Eka)","deviceName":"Monitoring_ruangan","devEui":"24b08fc43da9a9c2","deviceClassEnabled":"CLASS_A","tags":{"devAddr":"016b069c","adr":false,"dr":2,"fCnt":29,"fPort":2,"confirmed":false,"data":{"CtIYVgCBAAEA","object":{"suhu":27.7,"suara":48.0,"cahaya":129.0,"node":"Node_1","kelembaban":62.3,"kipas":0.0},"rxInfo":{"gatewayId":"0016c001f10a6de4","uplinkId":"3994100882","nsTime":"2026-06-29T09:54:52.904373954+00:00","rssi":-30,"snr":14.25,"channel":1,"location":{"context":{"A564bw==","crcStatus":"CRC_OK"}},txInfo":{"frequency":923400000,"modulation":{"lora":{"bandwidth":125000,"spreadingFactor":10,"codeRate":"CR_4_5"}}},"regionConfigId":"as923"}},application/5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77/device/c95c43e17dbfe698/event/up {"deduplicationId":"1ab652e9-9091-49fc-8ddf-a3495b5cfac1","time":"2026-06-29T09:54:55.722029531+00:00","deviceInfo":{"tenantId":"efe6bc18-fb0e-45dd-9aaa-881a1b65e85c","tenantName":"gateway","applicationId":"5c8e7a55-0821-40d7-898e-2a191394ad77","applicationName":"endnodeA","deviceProfileId":"67760274-cb12-467e-b7d0-f46d4f2483fd","deviceProfileName":"endnode(Eka)","deviceName":"kualitas_udara","devEui":"c95c43e17dbfe698","deviceClassEnabled":"CLASS_A","tags":{"devAddr":"0078b72f","adr":false,"dr":0,"fCnt":366,"fPort":2,"confirmed":false,"data":{"AZEAawAAAA==","object":{"partikel_debu":0.0,"node":"Node_2","co2":401.0,"buzzer":0.0,"co":0.03},"rxInfo":{"gatewayId":"0016c001f10a6de4","uplinkId":"4224094930","nsTime":"2026-06-29T09:54:55.510999565+00:00","rssi":-47,"snr":8.75,"location":{"context":{"A8Zreg==","crcStatus":"CRC_OK"}},txInfo":{"frequency":923200000,"modulation":{"lora":{"bandwidth":125000,"spreadingFactor":12,"codeRate":"CR_4_5"}}},"regionConfigId":"as923"}}
```

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA