UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Design and Implementation of LoRa-Based Telemetry, Tracking, and Command (TTC) Subsystem for 1U
CubeSat Prototype as an Educational Tool**
Akhtar Fawwaz Hannan, Dr. Agfianto Eko Putra, M.Si.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# INTISARI

## PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SUBSISTEM TELEMETRY, TRACKING, AND COMMAND (TTC) BERBASIS LORA PADA PROTOTIPE CUBESAT 1U SEBAGAI ALAT EDUKASI

Oleh

Akhtar Fawwaz Hannan
22/497801/PA/21452

Mahasiswa Indonesia masih memiliki sedikit platform praktik untuk mengoperasikan tautan satelit: satelit mahasiswa pertama Indonesia baru dilepas ke orbit pada tahun 2023, sedangkan program pelatihan CubeSat impor berbiaya sekitar USD 3.500 per kursus. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi subsistem Telemetry, Tracking, and Command (TTC) berbasis LoRa berbiaya rendah beserta stasiun buminya untuk prototipe CubeSat 1U edukasi melalui pengujian fungsional dan pengujian komunikasi terestrial. Tracking didefinisikan sebagai pelaporan posisi berbasis GNSS. ESP32 pada CubeSat mengirimkan telemetri JSON yang dilindungi checksum CRC-16/CCITT-FALSE melalui tautan LoRa 433 MHz dalam siklus half-duplex 2000 ms yang diakhiri jendela perintah 500 ms. Penerima ESP32 memeriksa setiap bingkai, lalu backend Flask mengalirkan bingkai yang valid ke dasbor React, tempat perintah dikirim dan dikonfirmasi melalui ACK/NAK. Mengikuti model V, pemeriksaan komponen dilanjutkan dengan uji terintegrasi terhadap kriteria penerimaan yang ditetapkan sebelumnya. Pada sepuluh sesi yang tercatat, 28.217 bingkai valid-CRC diterima dari 28.372 bingkai yang diharapkan berdasarkan penghitung paket (99,45%), dan satu bingkai rusak yang sampai ditolak oleh CRC. Pada sesi luar ruang selama 140 menit, 4.201 bingkai valid-CRC dari 4.207 yang diharapkan diterima (99,86%), rata-rata interval pengiriman 2,000 s, dan setiap bingkai yang diterima membawa fix GNSS yang valid. Perintah yang dikirim melalui radio menghasilkan 44 ACK dan 2 NAK, dan pada uji fault setiap respons tiba dalam dua bingkai telemetri. Pada uji jangkauan luar ruang pertama, 23 dari 23 bingkai diterima pada 10 m, 8 dari 14 pada 50 m, dan tidak ada pada 100 m, dengan daya terima sekitar 73 dB di bawah prediksi ruang bebas pada 10 m; defisit ini dihipotesiskan berasal dari pemasangan antena. Setelah pemasangan diperbaiki, uji berulang 100 paket menghasilkan 99,0% pada 10 m, 58,0% pada 50 m, dan 65,5% pada 100 m, dengan daya terima sekitar 22 dB lebih tinggi pada 10 m, sehingga hipotesis tersebut terdukung. Target 95% pada 100 m tetap belum tercapai. Konsumsi daya dan hasil belajar tidak diukur. Hasilnya adalah rantai TTC berbiaya rendah dan sumber terbuka yang dapat digunakan untuk pembelajaran praktik.

Kata kunci: CubeSat, TTC, LoRa, ESP32, CRC-16, GNSS, stasiun bumi, rasio pengiriman paket, pendidikan sistem keantariksaan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Design and Implementation of LoRa-Based Telemetry, Tracking, and Command (TTC) Subsystem for 1U
CubeSat Prototype as an Educational Tool**
Akhtar Fawwaz Hannan, Dr. Agfianto Eko Putra, M.Si.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# ABSTRACT

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LORA-BASED TELEMETRY, TRACKING, AND COMMAND (TTC) SUBSYSTEM FOR 1U CUBESAT PROTOTYPE AS AN EDUCATIONAL TOOL**

By
Akhtar Fawwaz Hannan
22/497801/PA/21452

Indonesian students have few hands-on platforms for operating satellite links: the first Indonesian student satellite was deployed only in 2023, and an imported CubeSat training programme costs about USD 3,500 per course. This research aims to design, implement, and evaluate a low-cost LoRa-based Telemetry, Tracking, and Command (TTC) subsystem and ground station for an educational 1U CubeSat prototype through functional and terrestrial communication testing. The CubeSat sends CRC-16-protected JSON telemetry over a 433 MHz LoRa link in a 2000 ms half-duplex cycle with a 500 ms command window. An ESP32 receiver checks each frame, and a Flask backend streams valid frames to a React dashboard, from which commands are sent and confirmed by ACK/NAK. Following the V-model, component checks were followed by integrated tests against predefined acceptance criteria. Across ten logged sessions, 28,217 CRC-valid frames were received of 28,372 expected from the packet counter (99.45%), and the one corrupted frame that arrived was rejected by the CRC. In a 140-minute outdoor session, 4,201 CRC-valid frames of 4,207 expected were received (99.86%), the mean transmission interval was 2.000 s, and every received frame carried a valid GNSS fix. Commands sent over the radio produced 44 acknowledgements and 2 rejections, and in the fault tests every response arrived within two telemetry frames. In the first range test, 23 of 23 frames were received at 10 m, 8 of 14 at 50 m, and none at 100 m, with power about 73 dB below the free-space prediction at 10 m. After the antenna installation was corrected, repeated 100-packet runs gave 99.0% at 10 m, 58.0% at 50 m, and 65.5% at 100 m with about 22 dB more received power, supporting an antenna-installation cause; the 100 m target of 95% was still not met. Power consumption and learning outcomes were not measured. The result is a low-cost, open-source TTC chain usable for hands-on learning.

Keywords: CubeSat, TTC, LoRa, ESP32, CRC-16, GNSS, ground station, packet delivery ratio, space systems education