

Sistem Komunikasi Lora Antar Solar Autonomous Boat Sebagai Bagian Dari Teknologi Swarm USV

1st Simon Petrus Sianturi
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

simonpetruss@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

denny.darlis@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartaman
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

arishartaman@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pemantauan kualitas air perairan secara manual belum mampu merepresentasikan kondisi dinamis di lapangan. Tugas akhir ini mengembangkan sistem komunikasi data berbasis LoRa pada wahana Solar Autonomous Boat sebagai bagian dari teknologi Swarm USV. Sistem menggunakan mikrokontroler TTGO ESP32 LoRa32 OLED yang terintegrasi dengan sensor navigasi, penghindaran tabrakan, serta pemantauan kualitas air, udara dan lingkungan. Data dikirim dalam format CSV melalui frekuensi 866 MHz menuju gateway. Pengujian menunjukkan keberhasilan pengiriman data 100% dengan delay rata-rata 3 detik, nilai RSSI antara -52 dBm hingga -66 dBm, dan jangkauan komunikasi mencapai ± 210 meter.

Kata kunci — LoRa, sistem komunikasi, autonomous boat, swarm USV

I. PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas lingkungan perairan, khususnya danau, masih didominasi oleh metode manual dan sistem stasioner yang memiliki keterbatasan dalam hal cakupan dan adaptivitas terhadap perubahan kondisi lingkungan. Padahal, danau memiliki peran strategis sebagai sumber daya air, transportasi, perikanan, pariwisata, dan bagian dari budaya lokal [1].

Teknologi komunikasi Long Range (LoRa) merupakan solusi nirkabel jarak jauh dengan konsumsi daya rendah yang sesuai untuk sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). LoRa memungkinkan komunikasi antarkapal secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan seluler, sehingga tepat untuk diterapkan pada sistem swarm USV berbasis energi surya [2].

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang sistem komunikasi LoRa antar Solar Autonomous Boat sebagai bagian dari teknologi swarm USV.
2. Mengimplementasikan sistem komunikasi untuk pengiriman data sensor menuju gateway melalui LoRa.
3. Menguji performa sistem dalam skenario pengiriman data multi-sensor secara real-time.

II. KAJIAN TEORI

A. Solar Autonomous Boat

Solar Autonomous adalah Wahana permukaan air tanpa awak yang mampu bergerak secara otomatis serta menggunakan energi surya sebagai sumber daya utama untuk mengoperasikan sistem navigasi, motor, dan komunikasi secara mandiri [3].

B. Swarm USV

Sistem yang terdiri atas beberapa kapal permukaan tanpa awak (Unmanned Surface Vehicle) yang beroperasi secara terkoordinasi [4].

C. LoRa

Teknologi komunikasi nirkabel berbasis Chirp Spread Spectrum yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa digunakan secara luas dalam aplikasi Internet of Things (IoT) [5].

D. TTGO LoRa ESP32



GAMBAR 1
TTGO LORA ESP32 [6]

Modul TTGO LoRa merupakan papan pengembangan berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan chip komunikasi LoRa (SX1276/SX1278) dan layar OLED. Modul ini mendukung komunikasi nirkabel jarak jauh, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta dirancang untuk aplikasi Internet of Things (IoT) yang membutuhkan konsumsi daya rendah dan kemampuan pemrosesan yang tinggi [7].

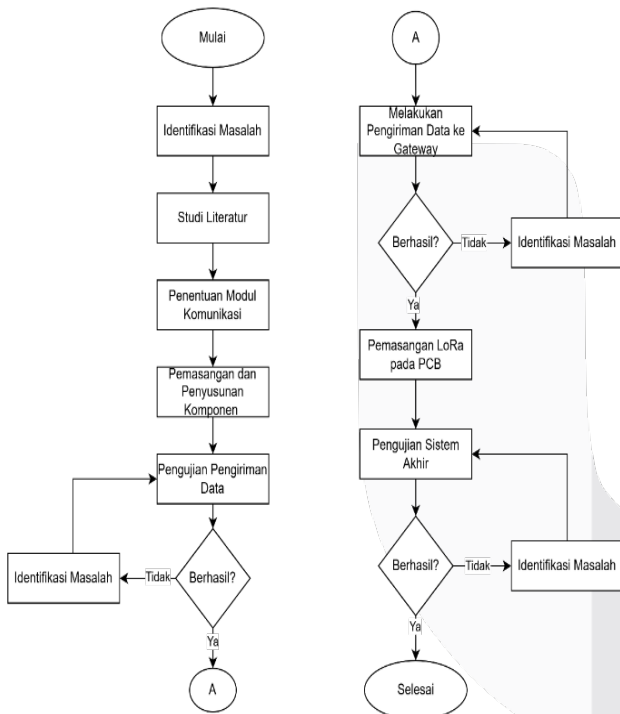
Tabel 1 dibawah ini memperlihatkan spesifikasi dari TTGO LoRa ESP32.

TABEL 1
SPESIFIKASI TTGO LORA ESP32 [8]

Component	Description
Microcontroller	ESP32 (Dual-core Xtensa® 32-bit LX6, up to 240 MHz)
Flash Memory	4MB (can vary by version)
RAM	512KB SRAM
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth Classic + BLE
LoRa Chip	Semtech SX1276 / SX1278
LoRa Frequency	433 MHz / 868 MHz / 915 MHz
USB Interface	Micro USB
Display	0.96" OLED, 128x64 pixels, I2C (SSD1306)
GPIO Pin	~30 multi-function pins (digital I/O, PWM, I2C, SPI, UART, ADC, etc.)

III. METODE

A. Flowchart Perancangan Sistem Komunikasi



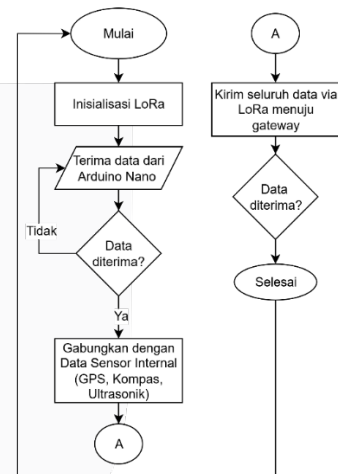
GAMBAR 2
FLOWCHART PERANCANGAN

Penelitian ini dilakukan untuk memastikan sistem komunikasi pada kapal tanpa awak (USV) dapat berjalan optimal melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Identifikasi masalah terkait keterbatasan jangkauan, kebutuhan integrasi berbagai sensor, serta pengiriman data real-time sebagai dasar dalam membangun sistem komunikasi jarak jauh yang andal.
2. Studi literatur dilakukan untuk menggali referensi sistem komunikasi IoT yang telah ada, khususnya yang menggunakan teknologi LoRa untuk jangkauan luas dan efisiensi daya.

3. Pemilihan modul komunikasi, yaitu LoRa TTGO ESP32 dan Arduino Nano, disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Arduino membaca data dari sensor dan mengirimkannya ke TTGO melalui UART.
4. Pemasangan dan penyusunan perangkat dalam bentuk prototipe menggunakan project board dan kabel jumper, lalu dilakukan pengujian awal untuk memastikan data dapat dikirim dari Arduino ke ESP32.
5. Perakitan permanen pada PCB dilakukan setelah perangkat diuji, dan seluruh modul disiapkan untuk pengujian sistem di lapangan.
6. TTGO ESP32 membaca data dari sensor internal seperti GPS, kompas digital, dan sensor ultrasonik untuk navigasi dan penghindaran rintangan, serta mengatur kendali motor kapal secara otomatis.
7. Data dikirim ke LoRa Gateway secara berurutan dan prioritas, dimulai dari data navigasi dan rintangan, diikuti data kualitas udara dan air (seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, UV, pH, DO, dsb).
8. Pengujian sistem akhir dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi berjalan secara real-time dan sinkron.

B. Flowchart Skenario Sistem



GAMBAR 3
FLOWCHART SKENARIO SISTEM

1. Inisialisasi Modul LoRa, sistem komunikasi diawali dengan inisialisasi modul LoRa pada perangkat TTGO ESP32 agar siap melakukan proses pengiriman data secara nirkabel.
2. Penerimaan Data dari Arduino Nano, TTGO ESP32 menerima data dari Arduino Nano, yang sebelumnya telah melakukan akuisisi data dari berbagai sensor lingkungan, baik analog maupun digital.
3. Pemeriksaan Status Data, sistem memeriksa apakah data dari Arduino telah diterima dengan baik. Jika belum, sistem akan menunggu hingga data tersedia.
4. Penggabungan Data Sensor, apabila data telah diterima, TTGO ESP32 akan menggabungkan data dari Arduino dengan data sensor internal yang

terhubung langsung ke ESP32, seperti GPS, kompas digital, dan sensor ultrasonik.

5. Pengemasan Data, seluruh data yang telah tergabung dikemas dalam format CSV agar dapat dikirim dalam satu paket data yang efisien.
6. Pengiriman Data ke Gateway, data dikirim secara nirkabel melalui modul TTGO LoRa pada frekuensi 868 MHz menuju LoRa Gateway untuk selanjutnya ditampilkan atau disimpan dalam basis data.
7. Pengulangan Proses, setelah pengiriman selesai, sistem kembali ke tahap awal dan mengulangi proses untuk siklus data selanjutnya secara terus-menerus dan real-time.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem Komunikasi

Luaran dari perancangan sistem komunikasi ini terdiri atas integrasi berbagai komponen perangkat keras seperti TTGO LoRa ESP32, Arduino Nano, sensor navigasi (GPS dan kompas digital), sensor ultrasonik, serta sensor lingkungan dan kualitas air. Komunikasi antar-perangkat dilakukan melalui protokol UART dan LoRa 868 MHz, dengan konfigurasi LoRa mencakup beberapa parameter diantaranya Spreading Factor 7, Bandwidth 125 kHz, dan Coding Rate 4/5.

B. Format Pengiriman Data

Format pengiriman data disusun secara terstruktur menggunakan format CSV untuk memudahkan identifikasi dan pemrosesan oleh sistem penerima. Setiap jenis data diawali dengan penanda khusus yang menunjukkan asal dan kategori sensornya.

1. Format pengiriman data sensor GPS dan Kompas:
`HEAD,<heading>,GPS,<latitude>,<longitude>,
ERR,<error>.`

Bagian ini memuat data navigasi dan orientasi kapal.

- HEAD menunjukkan nilai heading (arah hadap) kapal berdasarkan pembacaan dari sensor kompas digital.
 - GPS berisi dua nilai koordinat, yaitu *latitude* dan *longitude*, yang didapat dari sensor GPS dan merepresentasikan posisi kapal.
 - ERR menunjukkan tingkat *error heading*, yaitu selisih antara heading aktual dengan arah target. Nilai ini digunakan dalam sistem kontrol navigasi untuk koreksi arah kapal.
2. Format pengiriman data sensor Ultrasonik:
`ULT,<D>,<B>,<Ki>,<Ka>.`
 - ULT menunjukkan bahwa data berikutnya merupakan hasil pembacaan dari sensor ultrasonik.
 - D (Depan), B (Belakang), Ki (Kiri), dan Ka (Kanan) masing-masing menunjukkan jarak kapal terhadap objek atau rintangan di keempat arah tersebut.

3. Format data sensor kualitas air, udara dan lingkungan:

`NANO,<SuhuUdara>,<Kelembapan>,<CO>,<CO2>,<NH4>,<StatusHujan>,<Intensitas>,<UV>,<SuhuAir>,<Oksigen>,<pH>,<Kekeruhan>.`

Data yang dikirim meliputi:

- Suhu Udara dan Kelembapan Udara.
- Gas Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), dan Amonia (NH₄).
- Status Hujan, berupa keterangan “Hujan” atau “Tidak Hujan”.
- Intensitas Cahaya dan Indeks UV.
- Suhu Air, Oksigen Terlarut (DO), pH Air, dan Kekeruhan Air.

4. Format pengiriman keseluruhan data:

`HEAD,<heading>,GPS,<latitude>,<longitude>,
ERR,<error>,ULT,<D>,,<Ki>,<Ka>,NANO,
<SuhuUdara>,<Kelembapan>,<CO>,<CO2>,<NH4>,<StatusHujan>,<Intensitas>,<UV>,<SuhuAir>,<DO>,<pH>,<Kekeruhan>.`

Format ini merupakan penggabungan seluruh data dari tiga kelompok sebelumnya dan dikirim dalam satu baris data CSV.

C. Hasil Pengiriman Data

Dalam pengujian pengiriman data, TTGO LoRa akan mulai mengirimkan data dari berbagai sensor yang telah terintegrasi. Data ini mencakup sensor gps, kompas, ultrasonik, suhu udara, kelembapan udara, gas karbon dioksida, gas karbon monoksida, gas amonia, status hujan, intensitas cahaya, indeks UV, suhu air, oksigen terlarut, pH air dan kekeruhan air.

TABEL 2
Pengujian Pengiriman

Pengiriman Data	Data yang Terkirim	Status
1 hingga 10	pH Air, Suhu air, Kekeruhan air, Oksigen Terlarut, UV, Suhu Udara, Kelembapan Udara, Gas Karbon Dioksida, Gas Karbon Monoksida, Gas Amonia, dan Intensitas cahaya	Berhasil
	Jarak Depan, Belakang, Kanan dan Kiri	Berhasil
	Heading, Latitude dan Longitude	Berhasil

Tabel 2 di atas menunjukkan hasil pengiriman data sensor menuju gateway dengan seluruh pengujian menunjukkan status berhasil.

TABEL 3
Waktu Pengiriman dan Penerimaan

No.	Waktu Pengiriman	Waktu Diterima	RSSI	Delay
1	17:58:49	17:58:51	-53	2(s)
2	17:58:51	17:58:53	-52	2(s)
3	17:58:53	17:58:55	-52	2(s)
4	17:58:55	17:58:59	-59	4(s)
5	17:58:59	17:59:02	-66	3(s)
6	17:59:02	17:59:04	-54	2(s)
7	17:59:04	17:59:09	-54	5(s)
8	17:59:09	17:59:11	-53	2(s)
9	17:59:11	17:59:14	-52	3(s)
10	17:59:14	17:59:19	-54	5(s)

Tabel 3 diatas menunjukkan hasil dari proses pengiriman data, yang membandingkan waktu pengiriman ketika data dikirim oleh node dan diterima oleh gateway secara bersamaan dengan RSSI dan delay.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem komunikasi data menggunakan modul LoRa berbasis TTGO ESP32 telah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan perancangan. Seluruh data dari sensor kualitas air, lingkungan, serta navigasi berhasil dikirim dan diterima secara utuh oleh gateway dalam sepuluh sesi pengujian tanpa gangguan transmisi. Sistem menunjukkan kinerja yang stabil dengan nilai RSSI berkisar antara -52 dBm hingga -66 dBm dan waktu tunda 2 hingga 5 detik. Jangkauan pengiriman data mencapai 210 meter di area terbuka, yang mengindikasikan potensi cakupan lebih luas pada implementasi sebenarnya.

REFERENSI

- [1] M. K. Asnil, H. Soedodo and I. Ahyar, "Analisis Kebijakan Pemanfaatan Sumber Daya Danau Yang Berkelanjutan (Studi Kasus Danau Maninjau Sumatera Barat)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 1-9, 2015.
- [2] A. Haidar, B. Adhitiya and A. Kasyful, "Pengembangan Sistem Perantara Pengiriman Data Menggunakan Modul Komunikasi LoRa dan Protokol MQTT pada Wireless Sensor Network," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 3, pp. 1655-1659, 2019.
- [3] A. A. R. Febrina, D. Denny and R. Rusdinar, "Sistem Komunikasi Autonomous Boat dan Ground Control Station guna Mendukung Penelitian Autonomous Fish Feeder Swarm Boat di Laboratorium Inacos Universitas Telkom," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 0, no. 1, pp. 297-305, 2023.
- [4] K. N. D. Nofanti, A. S. M. P. Rusdinar and R. S. M. Nugraha, "Perancangan dan Implementasi Sistem Komunikasi dan Kontrol Formasi pada Swarm Boat," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 1580-1587, 2017.
- [5] R. Arifah, A. Zulpikar, J. Farhan, Aridha, R. Angga and F. A. Z. Fuadi, "DATA KOMUNIKASI SECARA REAL TIME MENGGUNAKAN LORA BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK PEMBUATAN WEATHER STATION," *Jurnal Elektro Teleko Terapan*, vol. 8, no. 2, pp. 1008 - 1017, 2021.
- [6] "Microcontrollerlab," 5 June 2021. [Online]. Available: <https://microcontrollerslab.com/ttgo-lora32-sx1276-oled-board-pinout-getting-started-with-arduino-ide/>. [Accessed 15 July 2025].
- [7] Ahocool, "Antares," 19 May 2024. [Online]. Available: https://www.aisi555.com/2024/05/lorawan-ttgo-esp32-telkom-antares.html#google_vignette. [Accessed 23 June 2025].
- [8] "rare components," [Online]. Available: <https://rarecomponents.com/store/ttgo-lora-paxcounter-esp32-q168>. [Accessed 15 July 2025].
- [9] "Nordic Semiconductor," 20 June 2025. [Online]. Available: <https://docs.nordicsemi.com/>. [Accessed 23 June 2025].
- [10] Lefteris, Benos, "ResearchGate," March 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/353980055_Bridging_the_Gaps_in_Traceability_Systems_for_Fresh_Produce_Supply_Chains_Overview_and_Development_of_an_Integrated_IoT-Based_System. [Accessed 8 February 2025].
- [11] Putra, Ramadhan Thalib; Yacoub, Redi Ratiandi; Marpaung Jannus; Tjahjamoonsirih Neilecy; Imansyah Fitri, "Pengaruh Interferensi Sistem Komunikasi LoRa pada Fresnel Zone antara End Device dengan Gateway," Pontianak, 2022.
- [12] A. Samekto, Hukum Lingkungan, Banten: Universitas Terbuka, 2022.
- [13] S. E. da, "Autonomous Boat," march 2017. [Online]. Available: <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/autonomous-boat/>.