

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Danau merupakan salah satu ekosistem perairan darat yang memiliki peran penting dalam mendukung kehidupan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Di Indonesia, danau tidak hanya berfungsi sebagai sumber air minum dan irigasi, tetapi juga digunakan untuk perikanan, transportasi air, pariwisata, pembangkit listrik, serta sebagai bagian dari budaya masyarakat setempat [1]. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara dan lingkungan menjadi aspek penting dalam menjaga keberlangsungan fungsi danau secara ekologis maupun sosial.

Upaya pemantauan lingkungan selama ini banyak dilakukan melalui metode manual atau menggunakan perangkat stasioner, yang pada umumnya hanya terbatas pada satu titik pemantauan dan kurang adaptif terhadap dinamika lingkungan perairan terbuka. Salah satu penelitian terdahulu yang relevan dilakukan pada perancangan *Autopilot Unmanned Smart Boat Vehicle (AUSV)* menggunakan modul komunikasi *LoRa* RFM95 [2].

Berdasarkan hasil pengujian, sistem komunikasi *LoRa* dengan antena 5 dBi mampu menjangkau jarak hingga 1.406,79 meter tanpa hambatan, dengan tingkat keberhasilan transmisi data yang sangat baik. Namun, pada jarak 1.507,29 meter, hanya dua dari sepuluh data yang berhasil diterima, yang menunjukkan adanya batas efektif dari jangkauan komunikasi dalam konfigurasi tersebut. Temuan ini menegaskan pentingnya pengembangan sistem komunikasi yang lebih andal dan efisien, khususnya dalam konteks pemantauan lingkungan perairan terbuka seperti danau.

Penelitian ini menawarkan pengembangan sistem komunikasi antar USV berbasis teknologi *Long Range (LoRa)* sebagai solusi yang efisien dan andal. *LoRa* merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi *Internet of Things (IoT)* dan sistem terdistribusi seperti swarm USV [3]. Dalam penelitian ini, *LoRa* digunakan sebagai media komunikasi antar *Solar Autonomous Boat* yang tergabung dalam sistem swarm USV. Sistem ini memungkinkan pengiriman dan penerimaan data sensor secara real-time antar USV dan *gateway*, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan akurat. Dengan mengintegrasikan teknologi *LoRa* dalam sistem USV berbasis energi surya, diharapkan solusi ini dapat meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan perairan secara berkelanjutan dan hemat energi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem komunikasi untuk mengirimkan data sensor menuju *gateway* menggunakan komunikasi *LoRa*?
2. Bagaimana cara menguji sistem komunikasi untuk mengirimkan banyak data menuju *gateway* menggunakan komunikasi *LoRa*?

1.3 Tujuan

1. Merancang sistem komunikasi *LoRa* antar *Solar Autonomous Boat* sebagai bagian dari teknologi swarm USV.
2. Mengimplementasikan sistem komunikasi *LoRa* antar *Solar Autonomous Boat* sebagai bagian dari teknologi swarm USV.
3. Menguji sistem komunikasi *LoRa* antar *Solar Autonomous Boat* sebagai bagian dari teknologi swarm USV.

1.4 Cakupan Pengerjaan

Cakupan pengerjaan dalam Tugas Akhir ini difokuskan pada pengembangan sistem komunikasi satu arah dari unit *Solar Autonomous Boat* (sebagai node) menuju *gateway* sebagai pusat penerima data. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data dari berbagai sensor lingkungan seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan parameter lain yang relevan. Komunikasi dilakukan menggunakan modul *LoRa* TTGO ESP32 pada frekuensi 866 MHz, dengan fokus pada efisiensi daya dan keandalan transmisi dalam lingkungan perairan terbuka.

1. Ruang Lingkup Pekerjaan: mencakup perancangan sistem komunikasi berbasis TTGO *LoRa* untuk mengirimkan data dari berbagai sistem menuju *gateway*. dilakukan juga perakitan PCB serta pemrograman *LoRa* untuk membaca dan mengirimkan data melalui format *csv* ke *gateway LoRa* menggunakan *LoRa* band 868 MHz.
2. Penyediaan Dataset dan Constraint Produk: data diperoleh langsung dari penerimaan berbagai macam sensor secara *real-time* di berbagai kondisi. System dirancang agar dapat mengrimkannya menuju *gateway* dengan keberhasilan 100%.
3. Pemisahan tugas tim: penulis berfokus pada perancangan, integrasi dan pengujian sistem komunikasi saja. Desain sistem pengukuran kualitas air, lingkungan, navigasi, penghindaran tabrakan dan penggerak kapal bukan tanggung jawab penulis, namun tetap dilakukan koordinasi dengan semua sistem yang tergabung dalam 1 USV.

1.5 Tahapan Pengerjaan

Pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan metode pengembangan sistem *Waterfall*, yang terdiri dari beberapa tahapan berurutan dan sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan hingga pengujian sistem secara menyeluruh. Metodologi ini dipilih karena sesuai dengan kebutuhan proyek yang membutuhkan integrasi perangkat keras dan lunak secara terstruktur. Berikut tahapan pengerjaan yang dilakukan:

1. Mulai

Tahap awal dimulai dengan menetapkan ruang lingkup tugas akhir, yaitu merancang sistem komunikasi data nirkabel pada *Solar Autonomous Boat* yang beroperasi secara *swarm*. Fokus utama adalah memastikan data dari seluruh subsistem kapal dapat dikirim ke pusat pemantauan dengan konsumsi daya rendah dan jangkauan luas.

2. Identifikasi Masalah

Masalah utama yang diidentifikasi adalah kebutuhan akan komunikasi jarak jauh yang stabil di lingkungan terbuka (perairan danau), keterbatasan daya pada sistem berbasis solar panel, serta pentingnya mengirim data prioritas (navigasi dan penghindaran) secara *real-time*. Permasalahan ini menjadi dasar dalam pemilihan protokol dan modul komunikasi.

3. Studi Literatur dan Analisis Teknologi Komunikasi

Kajian literatur dilakukan terhadap teknologi LoRa dan alternatif lainnya (seperti Wi-Fi dan Zigbee). LoRa dipilih karena memiliki jangkauan jauh (hingga beberapa kilometer), efisiensi daya tinggi, dan banyak digunakan dalam aplikasi IoT outdoor. Referensi juga mencakup dokumentasi TTGO ESP32 LoRa dan sistem komunikasi *UART*.

4. Pemilihan Komponen Sistem Komunikasi

Komponen utama yang dipilih meliputi TTGO ESP32 LoRa sebagai pengirim, *LoRa Gateway* sebagai penerima, Arduino Nano sebagai pembaca sensor kualitas air/udara, serta sensor navigasi dan ultrasonik. Pemilihan mempertimbangkan kompatibilitas komunikasi, ketersediaan pin, efisiensi konsumsi daya, serta kestabilan operasional.

5. Perancangan Sistem Komunikasi

Perancangan arsitektur sistem dilakukan dengan membagi sistem menjadi beberapa subsistem yaitu pembacaan sensor, pengiriman prioritas data dan pengaturan waktu pengiriman untuk menghindari tabrakan data. Diagram blok dan skematik rangkaian dirancang menggunakan *software* seperti EasyEDA, dengan penekanan pada integrasi *UART* dan *LoRa*.

6. Implementasi Perangkat Keras dan Pemrograman

Setelah perancangan selesai, dilakukan perakitan sistem pada PCB dengan integrasi penuh antara Arduino Nano, TTGO ESP32 LoRa, dan semua sensor. Sistem diprogram menggunakan Arduino IDE, dengan logika pemrosesan

data, interval pengiriman, ID unik pengiriman, dan prioritas data (navigasi dan ultrasonik dikirim lebih awal dari sensor lainnya).

7. Pengujian Fungsional Sistem Komunikasi

Sistem diuji secara fungsional untuk memastikan data dari Arduino dapat dikirim dan diterima oleh TTGO ESP32, serta dikodekan dalam format CSV. Pengujian juga mencakup sinkronisasi waktu pengiriman agar data tidak saling tumpang tindih, serta verifikasi stabilitas sinyal LoRa saat sistem berjalan penuh.

8. Pengujian Lapangan dan Analisis Kinerja

Uji lapangan dilakukan di area danau dengan jarak 200–500 meter antara kapal dan gateway. Parameter yang diukur meliputi *RSSI*, delay pengiriman, dan presentase keberhasilan pengiriman. Data dicatat dan dibandingkan untuk tiap jenis data (navigasi, ultrasonik, kualitas air/udara). Sistem dinilai mampu berjalan stabil dalam batas jangkauan LoRa.

9. Evaluasi dan Optimalisasi Sistem

Hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi sistem komunikasi. Identifikasi dilakukan pada *bottleneck* seperti keterlambatan pengiriman data *UART* atau keterbatasan prioritas LoRa. Sistem diperbaiki dengan pengaturan jeda pengiriman antar tipe data, dan penguatan logika prioritas di sisi pemrograman.

10. Selesai dan Dokumentasi Proyek

Setelah sistem berjalan sesuai yang diharapkan, dilakukan finalisasi dokumentasi sistem berupa skema, diagram komunikasi, pengujian, dan evaluasi. Sistem komunikasi siap diintegrasikan dalam skala penuh untuk tiga kapal swarm dengan kemampuan mengirimkan data lingkungan dan navigasi secara real-time dan hemat energi.