

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian dari sistem yang telah dibuat, peneliti dapat menyimpulkan beberapa hal diantaranya :

- a. Kedua sensor GPS yang digunakan mampu memberikan data koordinat dengan akurasi yang cukup baik, namun dengan karakteristik berbeda. GPS Neo-6M memiliki rata-rata error sekitar $\pm 3,04$ meter dan waktu akuisisi satelit yang lebih lama, terutama pada kondisi terhalang. Sebaliknya, Neo-M8N menunjukkan kinerja yang jauh lebih baik, dengan rata-rata error hanya $\pm 1,62$ meter dan waktu inisialisasi yang sangat singkat, yakni 5–7 detik pada kondisi langit terbuka. Hasil ini membuktikan bahwa pemilihan modul GPS sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem dalam mendeteksi posisi kapal secara tepat dan cepat.
- b. Modul LoRa SX1278 mampu melakukan komunikasi antar perangkat (*transmitter*, *repeater*, dan *receiver*) secara stabil dengan jangkauan efektif hingga 2 km tanpa *packet loss*, ditunjukkan oleh nilai RSSI antara -39 dBm hingga -96 dBm dan latensi rata-rata sekitar 1550 ms. Pada jarak 3 km, performa menurun dengan keberhasilan pengiriman hanya 79,37% akibat adanya *packet loss* sekitar 20,63%. Hal ini menunjukkan bahwa LoRa tetap dapat digunakan pada jarak menengah, meskipun kualitas komunikasi menurun pada jarak yang lebih jauh atau ketika terdapat *noise* dari lingkungan dan juga iklim.
- c. Hasil pengujian membuktikan adanya perbedaan kualitas komunikasi berdasarkan kondisi geografis dan iklim pantai. Di Pantai Utara yang relatif tenang, komunikasi berlangsung stabil dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% hingga jarak 2 km. Sementara itu, di Pantai Selatan yang memiliki gelombang besar dan angin kencang, kualitas sinyal menurun. Pada jarak 2 km, tingkat keberhasilan pengiriman hanya 86,8% dengan RSSI melemah hingga -105,6 dBm pada hop kedua. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan laut sangat memengaruhi kualitas komunikasi LoRa..

- d. *Dashboard* yang dikembangkan mampu menampilkan data posisi kapal, status zona, waktu, RSSI, dan SNR secara *real-time* maupun periodik. Fitur tambahan seperti peta interaktif (Leaflet), grafik sinyal (Chart.js), filter status, serta ekspor data ke CSV/Excel mendukung fungsi analisis dan dokumentasi hasil *monitoring*. *Dashboard* ini juga memberikan gambaran kondisi komunikasi secara visual dan terstruktur.
- e. Implementasi metode *Geofencing* berbasis *line crossing detection* terbukti efektif dalam membedakan zona berdasarkan perhitungan nilai D dan S. Formula ini tercermin dalam hasil pengujian dimana ketika $D \geq 0$ dan S lebih dari 1000 m, sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai Aman dan *buzzer* tetap mati. Pada kondisi Waspada, meskipun $D \geq 0$, nilai S kurang dari 1000 m, sehingga sistem memicu *buzzer* berkedip sebagai peringatan dini. Sementara itu, ketika $D < 0$, sistem langsung mengenali kondisi Pelanggaran dan *buzzer* menyala dengan intensitas tinggi. Kesesuaian hasil perhitungan D dan S dengan klasifikasi keluaran sistem membuktikan bahwa metode ini bekerja dengan cukup baik dan dapat dimanfaatkan sebagai peringatan dini ketika kapal mendekati atau melewati batas maritim.

5.2 Saran

Dalam proses perancangan dan pengujian sistem ini, peneliti menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan yang dapat di perbaiki dan dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, beberapa saran berikut dapat menjadi acuan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut :

- a. Apabila sistem ini akan diinisiasi dan dimanfaatkan oleh pihak berwenang seperti Badan Keamanan Laut (Bakamla) atau instansi terkait lainnya, diperlukan dukungan sarana dan prasarana infrastruktur komunikasi yang lebih memadai. Hal ini mencakup penggunaan modul komunikasi yang lebih baik, jangkauan sinyal yang lebih luas, serta penempatan *node* atau *repeater* dalam jumlah yang cukup di sepanjang garis pantai yang rawan pelanggaran maupun sengketa.

- b. Penggunaan frekuensi 433 MHz dalam penelitian ini bersifat eksperimental. Untuk pengembangan skala lebih besar dan implementasi resmi, sistem sebaiknya menggunakan frekuensi yang sesuai dengan regulasi di Indonesia, yaitu 915–923 MHz, yang diatur dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia No. 3 Tahun 2019 tentang persyaratan teknis alat dan/atau perangkat komunikasi *Low Power Wide Area* (LPWA). Dengan demikian, sistem akan lebih aman secara legal dan dapat mendukung integrasi dengan ekosistem perangkat IoT skala nasional.
- c. Skema komunikasi berbasis LoRa dan GPS yang diimplementasikan pada sistem ini tidak hanya terbatas pada pengawasan batas maritim, tetapi juga berpotensi diterapkan pada berbagai aplikasi lain seperti pelacakan aset (asset tracking), pemantauan pergerakan kapal nelayan, logistik laut, serta sistem peringatan dini berbasis lokasi dengan kebutuhan konsumsi daya rendah.
- d. Dalam pengembangan lebih lanjut, sistem dapat ditingkatkan dengan penambahan fitur seperti enkripsi data untuk keamanan komunikasi, integrasi dengan *dashboard* berbasis cloud untuk *monitoring* secara *real-time*.
- e. Menerapkan metode optimasi energi agar perangkat dapat beroperasi lebih lama menggunakan sumber daya terbatas seperti panel surya.