

Implementasi Sistem Pemantauan Kelayakan Kapal Pada Proses Pengujian Kapal Menggunakan Teknologi *Internet of Things*

Dimas Pristovani Riananda¹, Muhammad Abu Jami'in², Annas Singgih Setiyoko³, Alvalo Toto Wibowo⁴, Rikky Leonard⁵

dimaspristo@ppns.ac.id¹, jammy@ppns.ac.id², asinggihs@ppns.ac.id³, alvalototo@ppns.ac.id⁴, rikkyleonard@ppns.ac.id⁵

^{1,2,3}Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{4,5}Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

Informasi Artikel

Diterima : 20 Nov 2024
Direvisi : 1 Des 2024
Disetujui : 20 Des 2024

Kata Kunci

Internet of Things,
Android Aplikasi,
Aplikasi Web, Inspeksi
Kapal, Uji Layar Kapal

Abstrak

Kapal baru harus menjalani inspeksi uji berlayar sebelum serah terima kepada pemilik berdasarkan regulasi *International Maritime Organization* dalam Resolusi MSC.137. Selama ini inspeksi masih manual sehingga penggunaan sistem pemantauan kelayakan kapal dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) sangat dibutuhkan. Sistem ini terdiri dari perangkat keras yang terhubung dengan aplikasi android dan aplikasi berbasis web yang memantau data posisi, kecepatan, kemiringan, kecepatan angin, dan waktu secara langsung. Proses pencatatan dilakukan secara bersamaan pada perangkat keras, aplikasi Android, dan aplikasi berbasis web sehingga ada reduksi pencatatan. Keseluruhan sistem yang dirancang tidak hanya memberikan dokumentasi yang lengkap, tetapi juga mendukung pengujian yang transparan dan akurat. Hasil dari uji coba ini memastikan bahwa spesifikasi teknis kapal sesuai dengan standar yang telah disepakati, serta memperkuat kepercayaan seluruh pihak yang terlibat dalam proyek pengujian. Dengan keberhasilan ini, sistem monitoring dan analisis berbasis IoT dapat menjadi solusi yang andal untuk kebutuhan operasional dan evaluasi kinerja kapal.

Keywords

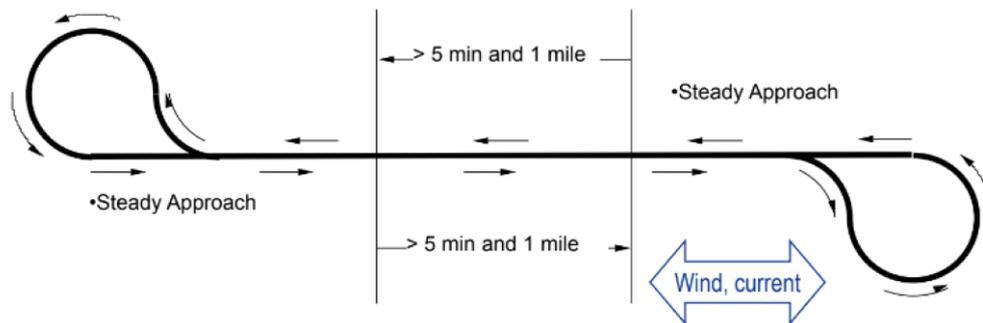
Internet of Things, Mobile Application, Web Based Application, Ship Inspection, Sea Trial Ship

Abstract

A new ship must doing a sea trial inspection before handover to the owner based on International Maritime Organization regulation under Resolution MSC.137. Currently, these inspections are conducted manually. So, the Ship Qualification and Clasification System using Internet of Things (IoT) technology are highly needed. This system made up of hardware connected to an Android application and a web-based application that monitors real-time data on position, speed, inclination, wind speed, and time. Data logger are performed simultaneously on the hardware, Android app, and web-based app, creating redundancy in data logging. In practice, The results of these trials ensure that the ship's technical specifications comply with agreed standards, as well as strengthening the confidence of all parties involved in the testing project. With this success, an IoT-based monitoring and analysis system can be a reliable solution for operational needs and evaluating ship performance

A. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) sangat penting untuk sistem pemantauan di berbagai bidang, seperti lingkungan, transportasi, dan navigasi. IoT mengaitkan alat-alat lewat internet untuk mengumpulkan dan membagi informasi secara real-time, yang berguna untuk pemantauan otomatis dan jarak jauh [1 – 5]. Dalam pemantauan lingkungan, IoT dipakai untuk mengukur suhu, kelembaban, kualitas udara, dan kondisi cuaca secara tepat. Data ini langsung dikirim ke aplikasi pemantauan untuk pengambilan keputusan cepat tanpa perlu inspeksi fisik terus-menerus. Ini meningkatkan efisiensi di sektor-sektor seperti pertanian. Dalam bidang transportasi, IoT digunakan untuk memantau kondisi dan posisi kendaraan, termasuk kapal, guna memastikan operasional yang aman dan efisien. Untuk kapal, *Internet of Things* (IoT) memberikan data posisi dan kondisi navigasi yang sangat berguna dalam pemantauan waktu nyata, terutama saat melakukan uji coba di laut, di mana data ini membantu menentukan apakah kapal siap untuk beroperasi [6 – 8]. Pada implementasinya pembuatan Sistem Pemantauan Kelayakan Kapal berbasis IoT membantu pengambilan keputusan berdasarkan data secara real-time, sehingga tindakan dapat diambil dengan cepat jika terjadi masalah atau perubahan kondisi [9 – 11]. Penggunaan IoT dalam sistem pemantauan kapal dan transportasi penting untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan secara keseluruhan.



Gambar 1. Ketentuan uji manuver kapal [1,2]

Penilaian kelayakan kapal adalah langkah evaluasi untuk memastikan kapal sesuai dengan standar keselamatan dan operasional sebelum digunakan untuk kegiatan komersial atau operasional [12]. Proses ini melibatkan pengujian parameter penting untuk menilai performa dan keamanan kapal dalam berbagai kondisi laut [13]. Parameter pertama adalah stabilitas kapal, yang mengukur kemampuan kapal untuk tetap seimbang dan kembali ke posisi tegak setelah miring akibat gelombang atau beban. Stabilitas yang baik sangat penting untuk menjaga keselamatan awak dan kargo dalam kondisi laut yang berombak. Kecepatan kapal juga penting karena memengaruhi efisiensi operasional, terutama pada kapal komersial. Kecepatan ideal menunjukkan bahwa kapal bisa sampai tujuan dengan waktu dan bahan bakar yang terbaik [14 – 18]. Pengujian manuver kapal umumnya dilakukan dengan uji kecepatan dinas dan turing circle seperti pada Gambar 1.

Dalam operasinya di laut, kapal harus mampu mempertahankan kecepatan dinas sesuai yang dijanjikan pada saat perjanjian jual beli kapal dari pemesan atau pemilik kapal ke galangan saat kontrak pembelian kapal dilakukan [19]. Poin kontrak tertulis di dalam *bulding specification* pembangunan kapal yang mana

seluruh spesifikasi kapal secara umum tertuang dalam *bulding specification* tersebut [20]. Sedangkan kemampuan kapal melakukan *turning circle* / lingkaran putar adalah salah satu uji yang harus dipenuhi oleh kapal dalam menentukan kinerja manuvernya selama berlayar. Menurut *International Maritime Organization* dalam *Resolution MSC.137*, *turning circle maneuver* adalah manuver yang dilakukan dengan arah *port* atau *starboard* dengan sudut kemudi 350 atau sudut maksimum seperti pada Gambar 2.

Uji coba laut merupakan tahapan penting dalam pengujian kelayakan kapal, di mana berbagai parameter manuver dan keselamatan diuji untuk memastikan bahwa kapal dapat beroperasi. Proses ini mencakup pengujian stabilitas, kemampuan manuver, kecepatan, dan ketahanan serta memerlukan sistem pemantauan real-time yang akurat. Namun, sistem pemantauan tradisional seringkali kurang portabel, mahal, dan tidak menyediakan data real-time yang optimal. Teknologi *Internet of Things* (IoT) mampu mengatasi kendala tersebut. IoT memungkinkan pemantauan langsung posisi dan navigasi kapal melalui perangkat yang lebih efisien, portabel, dan hemat biaya. Akses ke data *real-time* melalui perangkat seluler atau platform web memberikan fleksibilitas dan kecepatan dalam pengambilan keputusan selama proses pengujian [21 - 25].



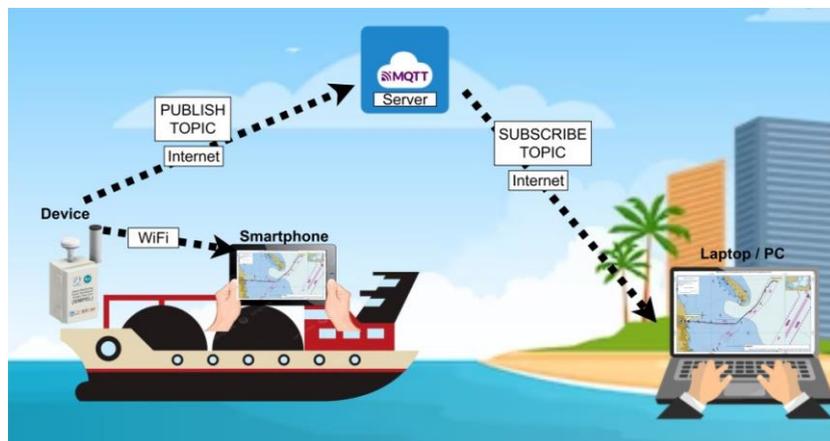
Gambar 2. Uji kelayakan kapal (*sea trial*) dengan Manuver Berputar

Sistem ini berperan penting dalam mengukur kecepatan dinas dan manuver kapal, memberikan manfaat langsung bagi galangan kapal dalam menentukan spesifikasi performa kapal yang dibangun, sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi baik di tingkat lokal maupun regional. Di galangan kapal modern, perangkat portabel ini juga berfungsi sebagai perangkat validasi objektif untuk uji manuver dan kecepatan dinas kapal, melengkapi sistem navigasi internal kapal. Fitur IoT memungkinkan akses hasil uji secara realtime melalui web atau smartphone, memberi kemudahan bagi pemilik kapal atau pihak terkait dalam memantau performa kapal. Selain itu, perangkat ini terintegrasi dengan software pelacakan posisi kapal pada peta laut, yang memberi awak kapal informasi penting seperti posisi, keadaan laut, zona bahaya, dan wilayah penangkapan ikan. Sea trial atau uji coba kapal merupakan tahap penting untuk memastikan kesesuaian kapal

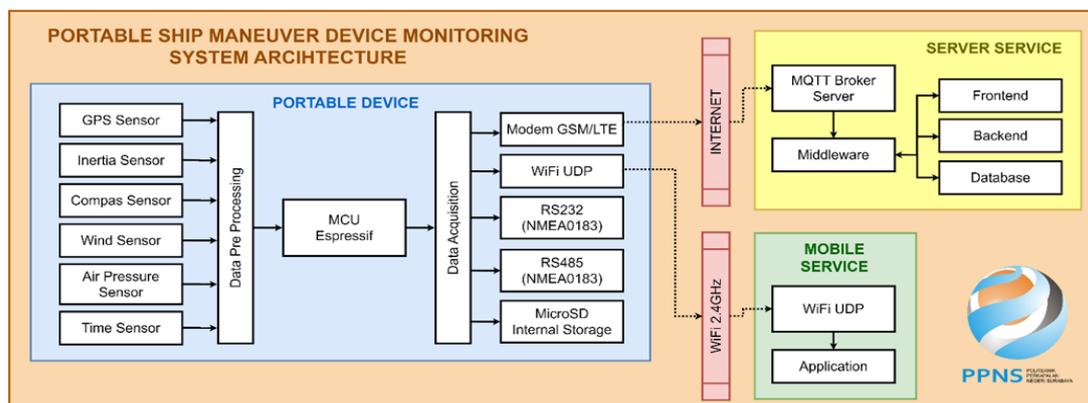
dengan spesifikasi, desain, dan performa mesin. Hasil uji sea trial dianalisis untuk mengevaluasi penyimpangan dan memberikan rekomendasi perbaikan jika diperlukan. Kontribusi penelitian ini untuk masyarakat, khususnya di kalangan tradisional, adalah penambahan sistem dashboard navigasi yang mendukung pengukuran manuver dan kecepatan, melengkapi fitur dashboard lama yang hanya mengatur kemudi dan kontrol *fuelrack*.

B. Metode Penelitian

Pada dasarnya ada 2 perangkat pemantauan secara lokal maupun global seperti pada Gambar 3. Untuk perangkat pemantauan secara lokal menggunakan koneksi WiFi yang terhubung dari perangkat ke aplikasi pada sebuah smartphone. Untuk device monitoring global, menggunakan sistem Internet of Things, dimana data akan dikirim ke server menggunakan komunikasi selular 2G maupun 4G (Tergantung area cakupan selular) dengan protokol komunikasi MQTT dan akan ditampilkan dalam bentuk website dashboard pada laptop, pc, dll dari tempat manapun. Dengan demikian, pemilik kapal dapat mengetahui histori dan mengidentifikasi kejadian atau kegiatan kapal yang telah berlangsung (histori) atau sedang berlangsung (realtime dan histori) ketika sistem terkoneksi dengan sinyal internet.

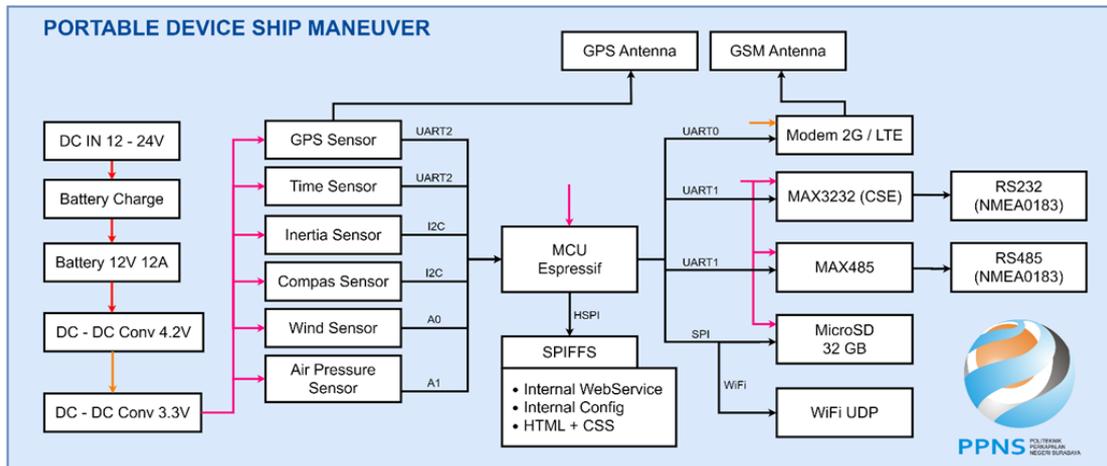


Gambar 3. Metode Komunikasi *Internet of Things* (IoT) dari perangkat keras ke aplikasi android dan aplikasi berbasis web



Gambar 4. Arsitektur Diagram Sistem Monitoring Manuver Kapal

Pada dasarnya peta jalan pelaksanaan kami bagi menjadi 3 pekerjaan utama seperti pada Gambar 4, yaitu bagian Hardware dan Firmware sesuai dengan Gambar 5, bagian Server Service yang terdiri dari Software Middleware, Software Database, Software Frontend, Software Backend, dan Software Manajemen sesuai dengan Gambar 6, dan yang terakhir adalah bagian Software Mobile Service Apps atau aplikasi mobile smartphone sesuai dengan Gambar 7.



Gambar 5. Arsitektur Diagram Perangkat Keras *Portabel Monitoring Manuver Kapal*

Cara kerja perangkat yang ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu: GPS Sensor, inertia sensor, compass sensor, wind sensor, air pressure sensor, dan time sensor masuk ke data pre-processing yang mana level dan karakteristik sensor di proses sebelum masuk kedalam mikrokontroler unit. Setelah data masuk kedalam mikrokontroler unit, keluaran dari proses tersebut akan dikeluarkan ke dalam berbagai macam fitur:

1. Fitur pertama adalah data hasil proses akan dikirim melalui koneksi internet menggunakan modem GSM / selular menuju server yang ada (Proses internet of things).
2. Fitur kedua adalah data hasil proses akan dikirimkan melalui koneksi WiFi yang terhubung dengan aplikasi smartphone.
3. Fitur ketiga adalah tapping data melalui komunikasi RS232 dan RS485 yang siap digunakan dan dikombinasikan dengan perangkat navigasi lainnya seperti GPS Plotter, AIS Transponder, PLC, dll.
4. Fitur keempat adalah penyimpanan lokal dengan metode data logger.

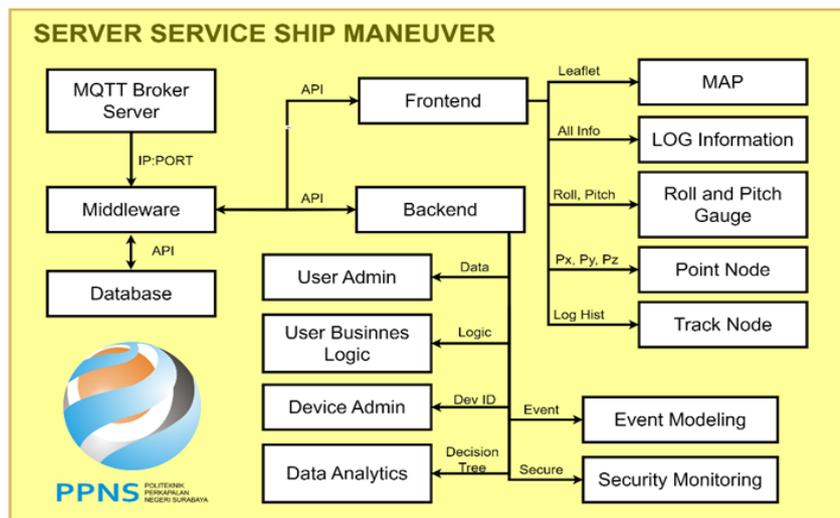
Data – data yang diperoleh dari perangkat ini akan digunakan sebagai acuan untuk penyelesaian masalah pada latar belakang yang telah dijelaskan. Data – data yang bisa didapatkan pada perangkat ini antara lain :

1. Data Posisi Longitude dan Latitude
2. Data Waktu Pencatatan Real-time
3. Data Kemiringan Kapal (Roll Depan Belakang dan Pitch Kanan Kiri)
4. Data Arah Kapal
5. Data Kecepatan Angin dan Tekanan
6. Data Percepatan Kapal Mulai Berlayar dan Berhenti

7. Dan Data Tambahan Lainnya

Fitur atau keunggulan sistem yang ditawarkan dalam rancangan SIMPEL adalah sebagai berikut:

1. Data hasil pengukuran GPS dilakukan secara realtime dan terhubung dengan system informasi peta laut
2. Data yang tersimpan adalah posisi kapal secara real time yang tersampling dengan waktu sampling minimal 0.5 detik sedangkan data yang tersimpan dalam data logger dapat disetting dari 0.5 detik keatas.
3. SIMPEL adalah modul system navigasi yang dapat mengakomodir pengujian manuver dan kecepatan kapal pada saat pengujian seatrial.
4. SIMPEL adalah modul system navigasi yang terintegrasi dengan informasi peta laut dan wilayah sekitarnya termasuk informasi wilayah zona penangkapan ikan.
5. Modul SIMPEL dilengkapi dengan system komunikasi jarak jauh berbasis IoT menggunakan smartphome atau web di computer
6. Histori data informasi dalam SIMPEL dapat tersimpan selama 6 bulan.
7. Sistem ini menggunakan sensorless state estimator dengan algoritma system prediksi berbasis Kalman state estimator artificial intelligence yang mana data dinamis posisi kapal dapat dijabarkan menjadi kecepatan kapal, percepatan kapal dan inersia.
8. Kapal dapat terdeteksi ketika akan sandar atau dalam jangkauan sinyal internet yang selanjutnya mengirimkan notifikasi ke pemantau di darat tentang posisinya dan sekaligus mengirimkan data jika diminta oleh user.

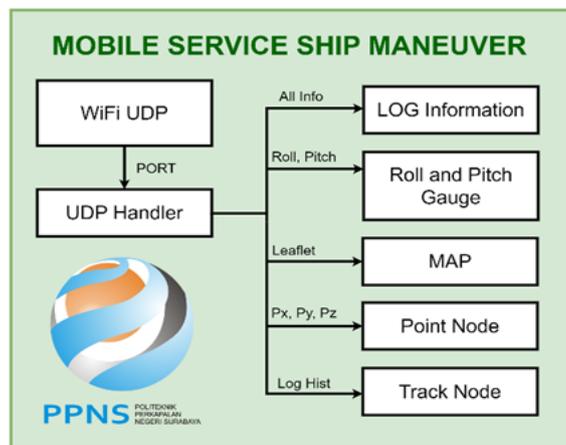


Gambar 6. Arsitektur Diagram Layanan Aplikasi Server dari *Frontend*, *Backend*, *Middleware*, dan *Database*.

Sistem software pada Gambar 6 akan menangani keseluruhan bagian dari pekerjaan server yaitu dari proses pembuatan MQTT broker server untuk jalur komunikasi dari perangkat ke server. Sistem middleware adalah proses yang menangani keseluruhan eksekusi data, algoritma, dan kecerdasan buatan. Sistem

frontend yang menangani tentang tampilan desain website. Sistem backend yang menangani keseluruhan proses bisnis dari sebuah model event pengguna. Keseluruhan proses ini ada pada sebuah server yang dapat diakses dari manapun menggunakan jaringan internet.

Sistem *Server Service Ship Maneuver* dimulai dengan MQTT Broker Server yang mengirimkan data real-time melalui IP ke Middleware. Middleware kemudian menerima data dari MQTT Broker Server, mengirimkannya ke Database melalui API untuk penyimpanan, dan ke Backend melalui API untuk pemrosesan lebih lanjut. Database menyimpan data yang diterima dari Middleware, sementara Backend mengelola data dari Middleware dan Database serta menangani pengelolaan User Admin, User Business Logic, Device Admin, dan Data Analytics. Backend selanjutnya mengirimkan data, logika, dan ID perangkat ke Frontend. Di Frontend, data divisualisasikan melalui beberapa fitur: MAP dengan integrasi Leaflet untuk peta lokasi kapal, LOG Information untuk informasi log, Roll and Pitch Gauge untuk mengukur kemiringan kapal, serta Point Node dan Track Node untuk melacak posisi dan histori kapal. Data Analytics dalam Backend menggunakan algoritma Decision Tree untuk memproses data yang kemudian dikirim ke Event Modeling untuk mendeteksi peristiwa berdasarkan data yang diterima. Event yang dihasilkan selanjutnya dikirim ke Security Monitoring untuk pemantauan keamanan sistem berdasarkan peristiwa yang terdeteksi.

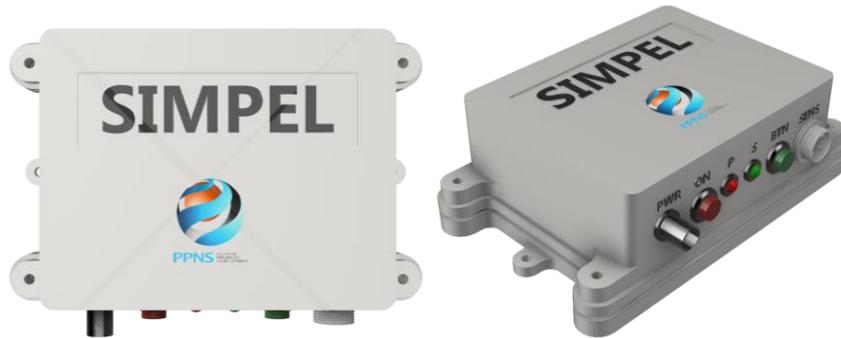


Gambar 7. Arsitektur Diagram Layanan Aplikasi Android

Berbeda dengan sistem server service, pada Gambar 7 adalah pada dasarnya adalah sistem yang terpisah. Mobile Service ini hanya menangani tampilan pada anjungan kapal yang berbentuk mobile service apps. Tujuannya memudahkan para nahkoda untuk memonitoring kondisi kapal saat uji manuver secara langsung dengan komunikasi lokal (WiFi).

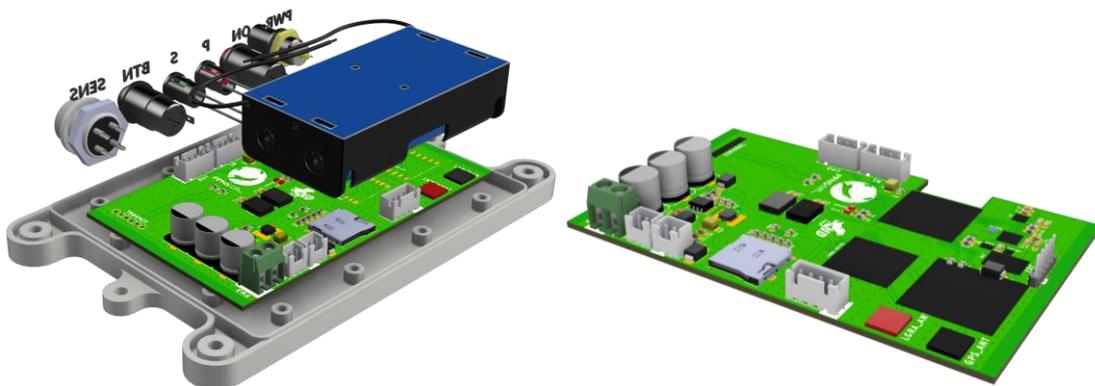
Sistem Mobile Service Ship Maneuver dimulai dengan WiFi UDP yang mengirimkan data melalui PORT ke UDP Handler. UDP Handler kemudian menerima data tersebut dan mendistribusikannya ke berbagai komponen visualisasi. Data ini ditampilkan di LOG Information untuk menampilkan semua informasi yang terkait, serta di Roll and Pitch Gauge untuk memantau sudut kemiringan kapal dengan data roll dan pitch. Selain itu, data juga digunakan pada MAP yang terintegrasi dengan

Leaflet untuk menampilkan peta lokasi kapal secara interaktif. Point Node menampilkan koordinat (Px, Py, Pz) yang menunjukkan posisi kapal secara spesifik, sementara Track Node menyajikan histori lokasi kapal berdasarkan data log yang diterima. Seluruh komponen ini bekerja bersama untuk memberikan tampilan komprehensif dalam mendukung manuver kapal melalui sistem mobile ini.



Gambar 8. Desain 3D Perencanaan Bentuk Casing dan Konektor

Desain 3D pada Gambar 8 untuk casing SIMPEL (Sistem Monitoring Posisi Laut) ini dirancang dengan bentuk yang kokoh dan fungsional, cocok untuk digunakan di lingkungan maritim yang menuntut daya tahan tinggi. Indikator LED menunjukkan status sistem dengan label PWR (Power), ON (Aktif), P (Posisi), S (Sinyal), dan BTN (Tombol), yang memungkinkan pengguna untuk memantau status perangkat secara cepat. Tombol PWR di bagian depan digunakan untuk menyalakan atau mematikan perangkat, sementara SENS adalah konektor sensor eksternal yang dirancang dengan perlindungan terhadap kelembapan dan debu untuk menjaga konektivitas yang stabil. Logo PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya) juga tertera pada casing sebagai identitas institusi pengembang perangkat ini. Desain casing ini dirancang tidak hanya untuk estetika, tetapi juga memastikan kemudahan pemasangan dan pemeliharaan, membuatnya ideal untuk aplikasi navigasi dan monitoring posisi di kapal.



Gambar 9. Desain 3D Perencanaan Peletakkan *Circuit Board* dan Desain *Circuit Board*

Desain 3D untuk peletakan Circuit Board dan desain Circuit Board pada perangkat SIMPEL ini menunjukkan perencanaan yang presisi untuk

memaksimalkan fungsionalitas dan efisiensi ruang di dalam casing. Circuit board ditempatkan dengan kokoh pada dasar casing, dilengkapi dengan berbagai komponen elektronik yang dirancang untuk mendukung operasi sistem monitoring posisi laut. Pada circuit board ini, terdapat komponen utama seperti kapasitor, resistor, konektor daya, dan modul komunikasi yang dirancang untuk mengelola data posisi dan memastikan performa sistem yang optimal.

C. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini akan membahas tentang hasil penelitian dan implementasi dari rancangan sistem yang telah dikembangkan untuk memonitor dan menganalisis data monitoring kapal. Sistem ini menyimpan berbagai data penting seperti koordinat longitude, latitude, kecepatan (speed), posisi roll, pitch, dan heading kapal. Setelah data terkumpul, proses selanjutnya adalah menggambarkan data tersebut pada peta untuk visualisasi posisi kapal dalam perjalanan. Selain itu, bagian ini juga akan mengkaji hasil dari sea trial, yang meliputi pengujian kondisi start kapal (dari berhenti menuju kecepatan maksimal), kondisi saat mencapai kecepatan maksimal, proses penghentian kapal (dari kecepatan maksimal hingga berhenti), dan pengamatan terhadap turning circle kapal.

1. Implementasi Data Logger

Untuk data logger yang dipakai menggunakan protokol CSV dengan delimiter karakter “:”. Bentuk data yang digunakan adalah seperti dibawah ini:

$$time: date: lat: long: alt: speed: pitch: roll: heading \quad (1)$$

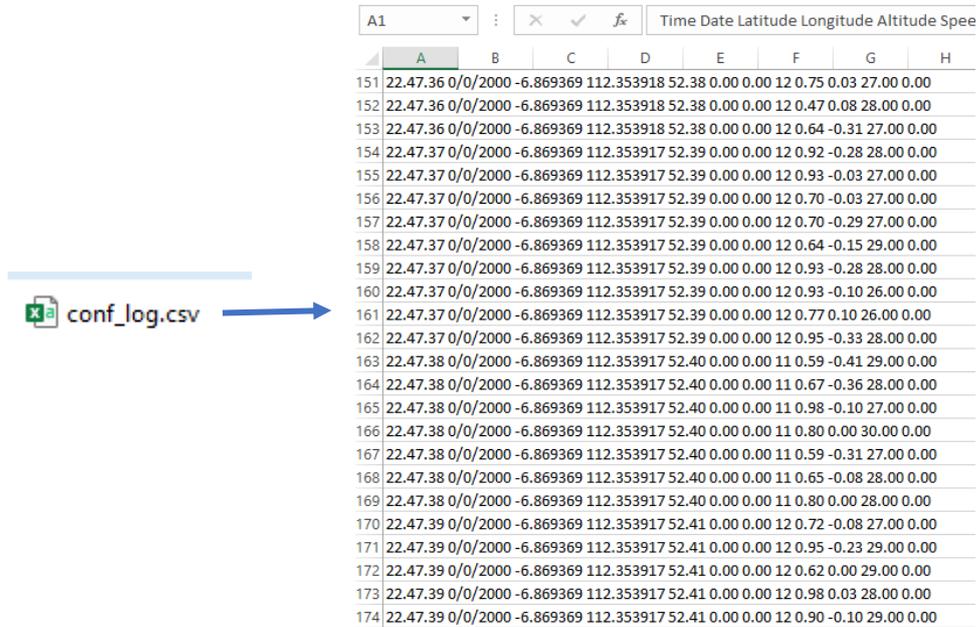
Dimana time adalah waktu dicatat, date adalah tanggal pencatatan data, Lat adalah Latitude, Long adalah Longitude, Alt adalah altitude, speed adalah kecepatan objek dalam knot, pitch adalah kemiringan sumbu longitudinal (depan – belakang), roll adalah kemiringan sumbu katerak (kanan – kiri), dan heading adalah arah atau orientasi objek terhadap arah mata angin.

Tabel 1. Hasil Data Logger Perangkat Keras *Portable Monitoring Maneuver Kapal*

No	Time	Latitude	Longitude	Speed	Pitch	Roll	Course
1	02:43:05.578	-6.873000000	112.292350000	4.68	3.74	-5.74	291.1
2	02:43:10.593	-6.872900000	112.292133333	5.61	3.38	8.30	295.8
3	02:43:14.602	-6.872800000	112.291916667	6.12	3.40	-1.87	293.7
4	02:43:20.613	-6.872683333	112.291683333	4.32	3.65	-3.60	295.0
5	02:43:28.622	-6.872583333	112.291466667	2.16	-8.16	-11.21	295.8
6	02:45:47.824	-6.872416667	112.291300000	2.78	2.12	4.67	293.7
7	02:45:54.847	-6.872350000	112.291083333	3.40	4.78	-1.36	294.6
8	02:46:01.867	-6.872250000	112.290850000	3.60	1.47	-2.21	295.5
9	02:46:30.920	-6.872166667	112.290616667	4.99	3.75	-0.99	280.4
10	02:46:36.942	-6.872100000	112.290350000	5.14	-0.19	0.26	293.9
11	02:46:42.963	-6.871983333	112.290150000	3.50	-12.88	-8.90	309.2
12	02:48:05.076	-6.871850000	112.289966667	0.87	-0.97	-8.03	349.2

Dari penggunaan logger diatas didapatkan data logger seperti pada tabel 1, dimana data tersebut adalah data cuplikan dari penyimpanan data logger yang ada.

Untuk aslinya, data logger tersebut dalam format CSV yang dapat dibuka menggunakan aplikasi Excell atau Sheet. Hasil penyimpanan logger pada SDcard di perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 10.



	Time	Date	Latitude	Longitude	Altitude	Speed
151	22.47.36	0/0/2000	-6.869369	112.353918	52.38	0.00
152	22.47.36	0/0/2000	-6.869369	112.353918	52.38	0.00
153	22.47.36	0/0/2000	-6.869369	112.353918	52.38	0.00
154	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
155	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
156	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
157	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
158	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
159	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
160	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
161	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
162	22.47.37	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.39	0.00
163	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
164	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
165	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
166	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
167	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
168	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
169	22.47.38	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.40	0.00
170	22.47.39	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.41	0.00
171	22.47.39	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.41	0.00
172	22.47.39	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.41	0.00
173	22.47.39	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.41	0.00
174	22.47.39	0/0/2000	-6.869369	112.353917	52.41	0.00

Gambar 10. Data Logger Pada SDcard yang telah mendapatkan data

Data Logger diatas disimpan pada perangkat keras yang telah dibuat dapat di lihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perangkat keras data logger dengan sistem *internet of things*

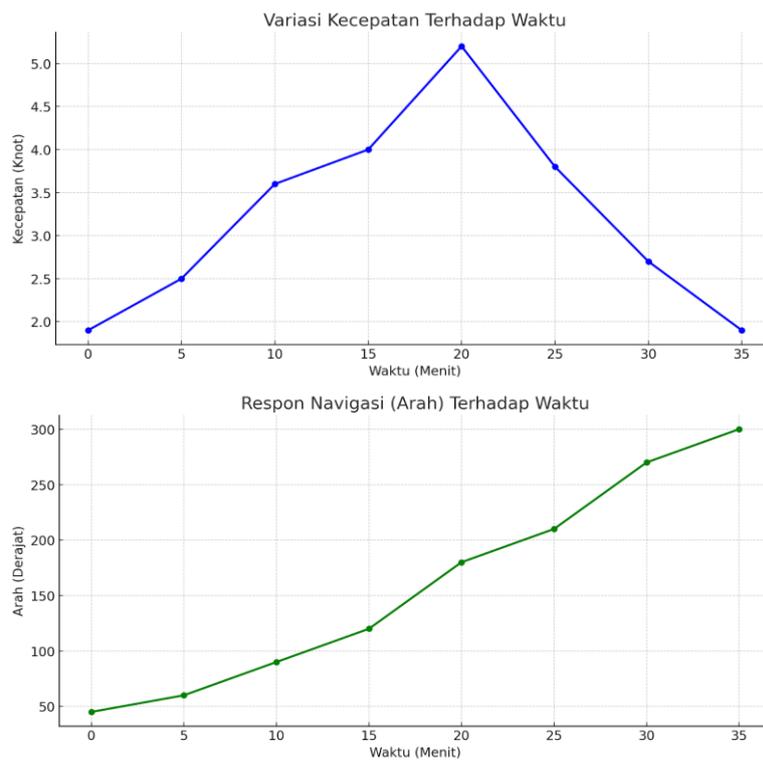
Untuk melihat rekaman dari data logger tersebut dapat memakai aplikasi web pada server service simpel dengan view pada Gambar 12.



Gambar 12. Rekaman *data logger* secara *real-time* pada aplikasi *web server service*

2. Variasi Kecepatan dan Respon Navigasi

Selama uji coba, kapal dioperasikan dengan kecepatan yang bervariasi, yang merupakan bagian dari pengujian untuk menilai performa kapal dalam menyesuaikan diri dengan perubahan kecepatan dalam waktu singkat. Rata-rata kecepatan yang dicapai sekitar 1,9 knot, namun dalam beberapa segmen, kecepatan dapat mencapai hingga 5,2 knot, sementara pada segmen lainnya sekitar 3,6 knot. Pengujian variasi kecepatan ini sangat penting dalam memahami bagaimana kapal dapat merespon perintah perubahan kecepatan, baik untuk meningkatkan maupun mengurangi laju.

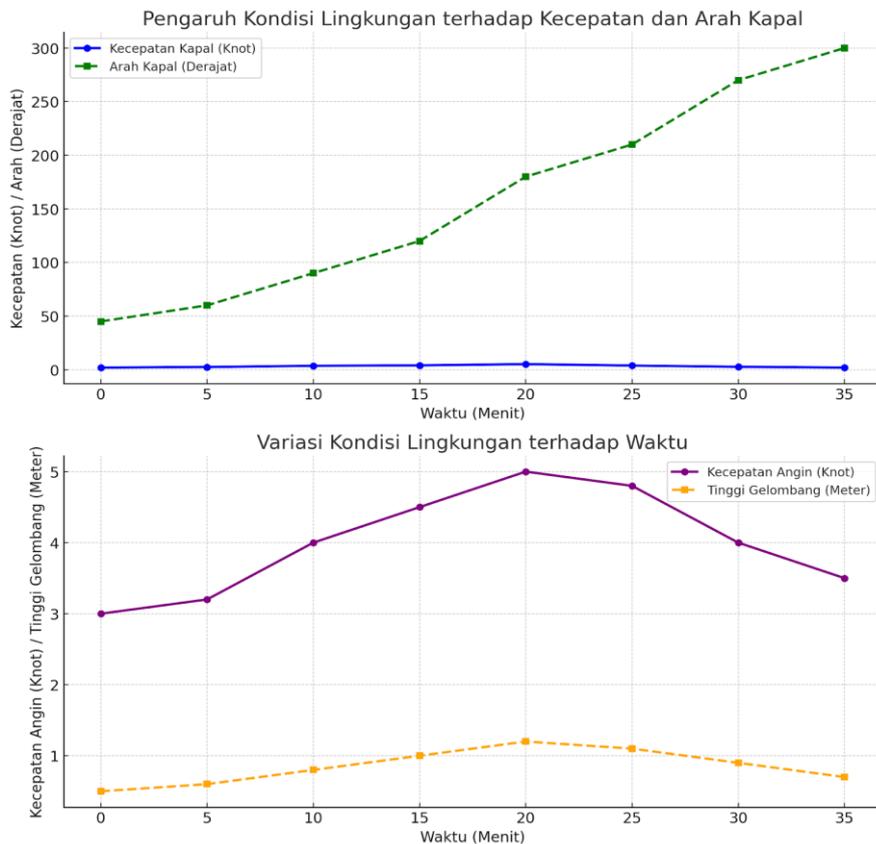


Gambar 13. Grafik Variasi Kecepatan dan Respon Navigasi

Grafik variasi kecepatan dan respons navigasi pada Gambar 13 menunjukkan hubungan antara perubahan kecepatan kapal dan arah kapal selama sea trial. Hubungan antara kedua grafik ini menggambarkan bahwa kecepatan dan arah kapal dikendalikan secara terkoordinasi, dengan perubahan kecepatan yang diiringi oleh penyesuaian arah. Hal ini mengindikasikan respons navigasi yang efektif, di mana kapal mampu menyesuaikan lintasan dan kecepatan dalam waktu yang bersamaan tanpa menimbulkan ketidakstabilan.

3. Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Stabilitas Navigasi

Kondisi lingkungan ini mempengaruhi stabilitas dan kemampuan kapal dalam menjaga akurasi navigasi. Dalam uji coba ini, pola lintasan yang terlihat menunjukkan bahwa kapal mampu menjaga posisinya dengan baik, bahkan di bawah pengaruh arus dan gelombang yang mungkin mengganggu jalur pelayaran. Uji coba di lokasi dengan kondisi lingkungan yang beragam memberikan data penting mengenai adaptabilitas kapal, terutama dalam menjaga kestabilan ketika harus menghadapi gangguan eksternal.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Stabilitas Navigasi

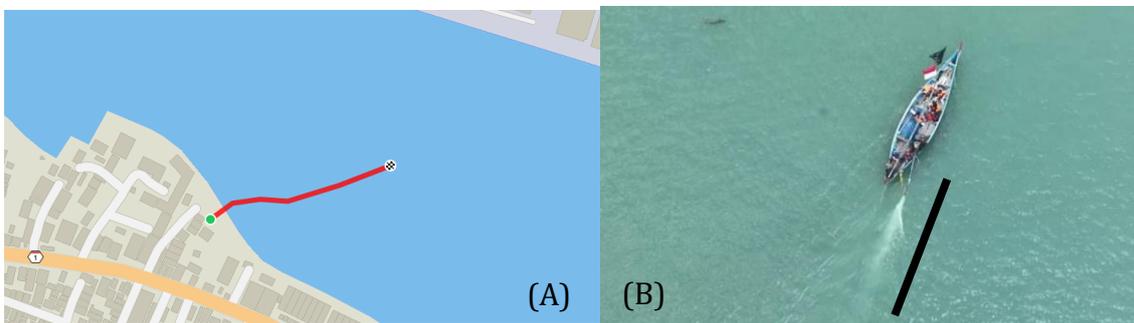
Gambar 14 ini menunjukkan pengaruh kondisi lingkungan (kecepatan angin dan tinggi gelombang) terhadap stabilitas navigasi kapal, yang dicerminkan melalui variabel kecepatan dan arah kapal. Dari grafik atas, terlihat bahwa kecepatan kapal meningkat hingga mencapai puncaknya di menit ke-20 (5,2 knot), bersamaan dengan arah yang berubah hingga 180 derajat, sebelum akhirnya menurun kembali.

Grafik kedua menunjukkan kondisi lingkungan, di mana kecepatan angin dan tinggi gelombang meningkat dari awal hingga sekitar menit ke-20, mencapai puncaknya pada 5 knot (kecepatan angin) dan 1,2 meter (tinggi gelombang), sebelum mengalami penurunan bertahap.

Hubungan antara kedua grafik ini memperlihatkan bahwa kapal mempertahankan stabilitas yang cukup baik meskipun kondisi lingkungan memburuk (dengan peningkatan angin dan gelombang). Kapal tetap mampu mengikuti lintasan yang terencana dengan perubahan arah yang bertahap dan stabil, meski kecepatan sedikit menurun pada gelombang dan angin tertinggi. Hal ini mengindikasikan efektivitas sistem kendali kapal dalam menghadapi perubahan lingkungan, dengan respon navigasi yang mampu menyesuaikan kecepatan dan arah sesuai kondisi.

4. Data Analisis Sea Trial Start

Sea trial start adalah pengujian kapal pada saat diam dengan kecepatan 0 knot menuju kecepatan maksimal pada waktu tertentu. Analisa yang dilakukan nantinya akan memunculkan spesifikasi akselerasi kapal dalam 0 knot menuju Max knot pada waktu yang terekam. Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. (A) Rekaman *website monitoring* secara *real-time* saat *sea trial start* dan (B) Dokumentasi saat proses *sea trial start*

Feature Info	Feature Info
position	06°52.27'S, 112°17.45'E
name	avnav-track-2024-09-29
overlay	Track: 2024-09-29.gpx
points	182/190
length	2.7 nm
remain	0.10 nm
average	1.9 kn
speed	1.4 kn
course	338 °
time	2024/09/29 10:42:21
start	2024/09/29 09:26:59
end	2024/09/29 10:53:18
position	06°52.23'S, 112°17.64'E
name	avnav-track-2024-09-29
overlay	Track: 2024-09-29.gpx
points	168/190
length	2.7 nm
remain	0.29 nm
average	1.9 kn
speed	5.6 kn
course	257 °
time	2024/09/29 10:33:25
start	2024/09/29 09:26:59
end	2024/09/29 10:53:18

Gambar 16. Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial start*

Dari perbandingan data diatas diketahui bahwa untuk kapal yang sedang diuji memiliki kecepatan awal sebesar 1.4 knot dan kecepatan maksimal sebesar 5.6 knot dengan waktu tempuh sekitar 40 detik.

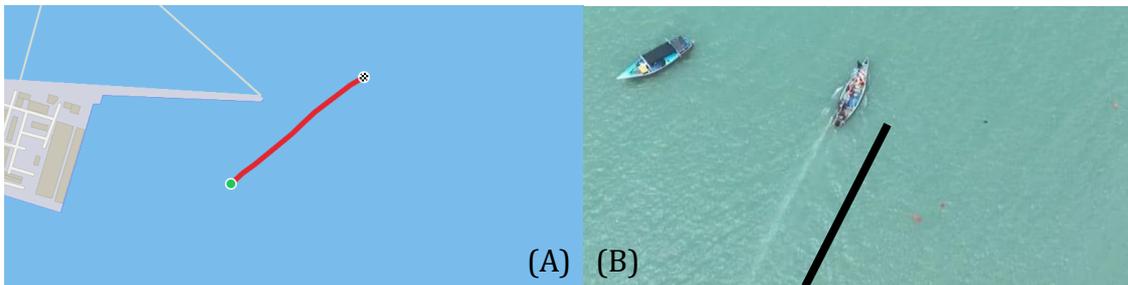
$$\Delta v = v_f - v_0 = 5.6 - 1.4 = 4.2 \text{ knot} \tag{2}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4.2 \text{ knot}}{40s} = 0.105 \text{ knot/s} \tag{3}$$

Dengan data ini dapat dianalisa bahwa akselerasi pada kapal tersebut adalah 0.105 knot per detik.

5. Data Analisis Sea Trial Maks Speed

Sea Trial Maks Speed adalah proses uji kapal di laut yang memiliki luaran spesifikasi kecepatan maksimal dari kapal yang sedang diuji. Kecepatan maksimal ini menjadi spesifikasi teknis yang juga wajib harus ada dan sesuai dengan spesifikasi perjanjian awal. Untuk prosesnya, kapal akan di layarkan dengan kecepatan maksimal beberapa waktu. Untuk prosesnya dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. (A) Rekaman *website monitoring* secara *real-time* saat *sea trial maks speed* dan (B) Dokumentasi saat proses *sea trial maks speed*

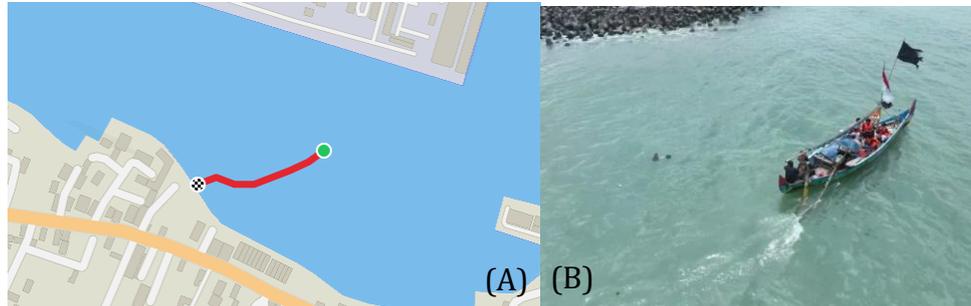
Feature Info		Feature Info	
position	06°52.23'S, 112°17.65'E	position	06°52.24'S, 112°17.63'E
name	avnav-track-2024-09-29	name	avnav-track-2024-09-29
overlay	Track: 2024-09-29.gpx	overlay	Track: 2024-09-29.gpx
points	167/190	points	169/190
length	2.7 nm	length	2.7 nm
remain	0.31 nm	remain	0.28 nm
average	1.9 kn	average	1.9 kn
speed	5.4 kn	speed	5.5 kn
course	252 °	course	254 °
time	2024/09/29 10:33:15	time	2024/09/29 10:33:36
start	2024/09/29 09:26:59	start	2024/09/29 09:26:59
end	2024/09/29 10:53:18	end	2024/09/29 10:53:18

Gambar 18. Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial maks speed*

Dari perbandingan data diatas diketahui bahwa untuk kapal yang sedang diuji memiliki kecepatan maksimal rata – rata adalah 5.4 knot dengan waktu kurang lebih selama 15 detik.

6. Data Analisis *Sea Trial Stop*

Sea trial stop adalah proses uji kapal di laut yang memiliki luaran spesifikasi *emergency stop* atau kondisi berlayar lalu tiba – tiba berhenti. Kondisi ini harus di uji karena menjadi sebuah ajuan sebuah kapal supaya dapat memperhitungkan kondisi stop dari kecepatan tertentu.



Gambar 19. (A) Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial stop* dan (B) Dokumentasi saat proses *sea trial stop*

Kondisi stop ini dapat dijalankan dari kecepatan maksimal lalu kondisi mesin dimatikan atau kondisi mundur untuk membantu pengereman. Untuk prosesnya dapat dilihat pada Gambar 19 dan Gambar 20.

Feature Info		Feature Info	
position	06°52.24'S, 112°17.61'E	position	06°52.28'S, 112°17.46'E
name	avnav-track-2024-09-29	name	avnav-track-2024-09-29
overlay	Track: 2024-09-29.gpx	overlay	Track: 2024-09-29.gpx
points	170/190	points	181/190
length	2.7 nm	length	2.7 nm
remain	0.26 nm	remain	0.11 nm
average	1.9 kn	average	1.9 kn
speed	5.1 kn	speed	0.9 kn
course	251 °	course	271 °
time	2024/09/29 10:33:46	time	2024/09/29 10:37:21
start	2024/09/29 09:26:59	start	2024/09/29 09:26:59
end	2024/09/29 10:53:18	end	2024/09/29 10:53:18

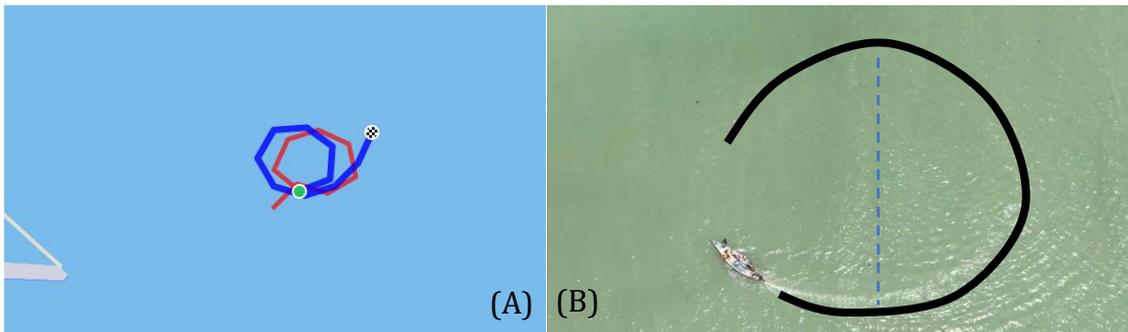
Gambar 20. Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial stop*

Dari perbandingan data diatas diketahui bahwa untuk kapal yang sedang diuji memiliki kecepatan awal sebelum berhenti adalah 5.1 knot dan saat *emergency stop* kecepatan akhir adalah 0.9 knot, kapal tidak benar – benar berhenti karena ada momentum dari beban kapal. Untuk uji kapal dengan kondisi *emergency stop* waktu yang dibutuhkan rata – rata adalah 10 detik knot.

7. Data Analisis *Sea Trial Turning Circle*

Sea trial turning circle adalah proses uji kapal di laut yang memiliki luaran spesifikasi *turning angle* atau kondisi dimana sudut putar sebuah kapal juga menjadi spesifikasi wajib yang harus dipenuhi sebuah kapal. Untuk prosesnya kapal akan melakukan putaran dengan sudut kemudi adalah 30 derajat dengan kecepatan

konstan, sehingga didapatkan spesifikasi *turning circle*. Untuk prosesnya dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22.



Gambar 21. (A) Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial turning circle* dan (B) Dokumentasi saat proses *sea trial turning circle*

Feature Info		Feature Info	
position	06°52.05'S, 112°17.93'E	position	06°52.04'S, 112°17.91'E
name	avnav-track-2024-09-29	name	avnav-track-2024-09-29
overlay	Track: 2024-09-29.gpx	overlay	Track: 2024-09-29.gpx
points	72/190	points	79/190
length	2.7 nm	length	2.7 nm
remain	1.6 nm	remain	1.6 nm
average	1.9 kn	average	1.9 kn
speed	3.4 kn	speed	3.8 kn
course	322 °	course	287 °
time	2024/09/29 10:12:35	time	2024/09/29 10:14:20
start	2024/09/29 09:26:59	start	2024/09/29 09:26:59
end	2024/09/29 10:53:18	end	2024/09/29 10:53:18
<input type="button" value="Convert"/> <input type="button" value="Goto"/> <input type="button" value="Hide"/> <input type="button" value="Cancel"/>		<input type="button" value="Convert"/> <input type="button" value="Goto"/> <input type="button" value="Hide"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Gambar 22. Perbandingan data secara *real-time* saat *sea trial turning circle*

Dari hasil pengujian dan implementasi diatas didapatkan bahwa uji coba kapal turning circle dapat termonitoring dan dapat dokumentasi dengan baik dan jelas. Untuk hasil sea trial turning circle diatas didapatkan dengan sudut kemudi 30 derajat didapatkan diameter turning circle sebesar kurang lebih 35meter. Dan untuk sebuah kapal dengan panjang 8 meter sudah termasuk bagus.

D. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan implementasi sistem monitoring kapal, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil merekam seluruh aktivitas kapal secara lengkap dan terdokumentasi dengan baik. Data yang meliputi kecepatan, posisi geografis, kemiringan (pitch dan roll), serta orientasi kapal (heading) disimpan dalam format CSV yang memudahkan proses analisis. Hasil ini menunjukkan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang mampu menjalankan fungsi pencatatan data dengan akurat.

Sistem Internet of Things (IoT) yang diimplementasikan juga berhasil memungkinkan monitoring data kapal secara real-time. Aksesibilitas ini

memastikan seluruh pihak yang berkepentingan dapat melihat data perjalanan dan pengujian kapal dengan mudah melalui aplikasi web. Kemampuan ini mendukung transparansi dalam pengelolaan data selama proses uji coba maupun operasi kapal sehari-hari.

Pengujian spesifikasi teknis kapal, seperti akselerasi, kecepatan maksimum, emergency stop, dan turning circle, telah dilakukan secara transparan dan terdokumentasi. Dari pengujian tersebut, kapal menunjukkan performa yang memadai, dengan akselerasi rata-rata sebesar 0.105 knot/s, kecepatan maksimum rata-rata 5.4 knot, waktu berhenti rata-rata 10 detik dari kecepatan 5.1 knot, serta diameter turning circle sekitar 35 meter dengan sudut kemudi 30°. Parameter-parameter ini memenuhi kriteria kinerja yang baik untuk kapal dengan panjang 8 meter.

Keseluruhan sistem yang dirancang tidak hanya memberikan dokumentasi yang lengkap, tetapi juga mendukung pengujian yang transparan dan akurat. Hasil dari uji coba ini memastikan bahwa spesifikasi teknis kapal sesuai dengan standar yang telah disepakati, serta memperkuat kepercayaan seluruh pihak yang terlibat dalam proyek pengujian. Dengan keberhasilan ini, sistem monitoring dan analisis berbasis IoT dapat menjadi solusi yang andal untuk kebutuhan operasional dan evaluasi kinerja kapal.

E. Referensi

- [1] Z Agustini, S. A., Mulyatno, I. P., & Amiruddin, W. (2023). Perancangan sistem digitalisasi monitoring data RPM engine dan temperatur minyak lubrikan kapal berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode simulasi prototype ESP32. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(4), 111-118.
- [2] Budiman, A. (2019). Sistem monitoring keamanan pelayaran nelayan berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Informatika*, 7(2), 97-106.
- [3] Christie, D. (2014). Innovative techniques to enhance safety. In *Cruise Ships: Examining Safety, Operations and Oversight Forum* (pp. 25-26). National Transportation Safety Board.
- [4] Gunnarsson, S., Sandra, M., & Johansson, A. J. (2020). Internet of buoys: An Internet of Things implementation at sea. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(12), 12077-12085.
- [5] Hakiki, S. H. A., & Dwisetiono, D. (2021). Lubricating system analysis using the FMEA method to determine system failure. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 99-105.
- [6] Kurniawan, A. Y., Iwan, I., & Waluyo, B. S. (2021). Steering gear system testing during sea trial archipelago belt pioneer ship 750 DWT. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 92-98.
- [7] Molland, A. F. (2007). *The maritime engineering reference book: A guide to ship design, construction and operation*. Butterworth-Heinemann.
- [8] OCIMF. (2013). *Recommendations on the proactive use of voyage data recorder information*. Oil Companies International Marine Forum.
- [9] Prijambodo, T., Wardani, K. S., Hendriyono, W., & Subarkah, A. (2021). Characteristics of Karimunjawa Island beach as an alternative flight test location for seaplane N219A. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 106-114.

- [10] Rahman, A., Achmad, A., Arda, A. L., & Qashlim, A. (2023). Sistem monitoring pergerakan kapal nelayan tradisional menggunakan Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Al Asyariah Mandar*, 9(2), 286-295.
- [11] Rizal, M., & Hadi, E. S. (2014). Pemanfaatan material plastik HDPE bekas drum kemasan sebagai kulit lambung perahu. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 11(3), 162-167.
- [12] Sandra, M., Gunnarsson, S., & Johansson, A. J. (2020). Internet of buoys: An Internet of Things implementation at sea. *arXiv preprint arXiv:2012.05653*.
- [13] Sari, D. P., & Mulyatno, I. P. (2021). Real-time fuel consumption monitoring system integrated with Internet of Things (IoT). *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 18(2), 88-100.
- [14] Setiawan, A., & Mulyatno, I. P. (2021). Monitoring dan controlling pada proses bunkering di kapal berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Aplikasi Sains dan Teknologi*, 5(2), 498-507.
- [15] Siregar, R. H., & Mulyatno, I. P. (2021). Rancang bangun sistem monitoring kinerja main engine kapal berbasis IoT. *Globe: Jurnal Teknik Sistem Informasi*, 2(3), 575-585.
- [16] Tallink Group. (2018). Tallink opts for IoT based operational awareness solution. *Marine Log*.
- [17] Umar, H., & Mulyawan, D. (2021). Biomass gasification equipment design. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 115-119.
- [18] Utomo, B. (2010). Analisa kinerja kemudi kapal "MV Sirena" pada pelayaran percobaan kapal baru. *Jurnal Teknik*, 31(2), 176-182.
- [19] Xu, L., Wang, J., Li, Y., Sheng, L., & Li, C. (2021). Analisis perbaikan stern tube poros propeller single screw pada kapal general cargo 4192 GT. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(3), 369-378.
- [20] Yusim, A. K., Iwan, I., & Waluyo, B. S. (2021). Steering gear system testing during sea trial archipelago belt pioneer ship 750 DWT. *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 2(3), 92-98.
- [21] Sari, D. P., & Wibowo, A. (2020). Implementasi Internet of Things (IoT) untuk monitoring kualitas air pada budidaya ikan lele berbasis web. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 5(2), 123-130.
- [22] Pratama, R. A., & Nugroho, H. A. (2019). Sistem pemantauan suhu dan kelembaban ruangan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan platform Blynk. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 4(1), 45-52.
- [23] Hidayat, T., & Kurniawan, D. (2021). Rancang bangun sistem pemantauan ketinggian air sungai berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor ultrasonik. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 6(3), 210-218.
- [24] Lestari, S. P., & Wijaya, A. (2022). Pengembangan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis Internet of Things (IoT) dengan notifikasi real-time. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 7(1), 89-97.
- [25] Rahman, F., & Putra, Y. (2020). Implementasi sistem pemantauan dan pengendalian lampu jalan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 5(4), 275-283.