

TRIGGER RUNNING HOUR (TRH) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI OPERASIONAL DAN MENGOPTIMALKAN BIAYA DENGAN MENGUBAH PEMANTAUAN PERALATAN MARITIM SECARA REAL-TIME

Agung Prajuhana Putra^{1*}, Hifshan Riesvicky² dan Sufiatul Maryana¹

⁽¹⁾Universitas Pakuan

Jl. Pakuan, RT.02/RW.06, Tegallega, Bogor Tengah, Jawa Barat 16129

⁽²⁾Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, Jawa Barat, 16424

prajuhana.putra@unpak.ac.id, riesvicky@gmail.com, sufiatul.maryana@unpak.ac.id

*Corresponding Author

ABSTRAK

Keandalan dan efektivitas biaya di sektor maritim bergantung pada dokumentasi yang akurat tentang waktu penggunaan peralatan dan pemeliharaan yang tepat waktu. Namun, sering kali terdapat perbedaan antara penggunaan yang dilaporkan dan jam operasi sebenarnya karena pelacakan penggunaan peralatan yang dilakukan secara manual. Ketidaksesuaian ini dapat menyebabkan jadwal pemeliharaan dan perbaikan yang tidak tepat untuk peralatan atau komponen penting kapal, seperti Crane Deck, Mesin Utama, Mesin Bantu, Kompresor, Generator, dan Pompa. Jadwal pemeliharaan yang tidak akurat dapat mengakibatkan peningkatan biaya operasional, mengancam keselamatan awak kapal, dan mengurangi masa pakai kapal.

Masalah ini diatasi oleh perangkat IoT berbasis "Trigger Running Hour", yang menawarkan pemantauan waktu penggunaan peralatan secara real-time. Perangkat ini menggunakan sistem sensor arus canggung untuk menentukan apakah setiap material penting (unit, komponen, dan bagian) sedang aktif digunakan. Data yang ditangkap dikirim ke penerima menggunakan teknologi LoRa (Long Range), yang memastikan koneksi andal bahkan pada jarak jauh di kapal. Data tersebut kemudian diproses di gateway pusat, di mana data tersebut digabungkan dan disiapkan untuk transmisi. Gateway memastikan integrasi yang akurat dan efisien dengan Sistem Pemeliharaan Terjadwal (Planned Maintenance System/PMS) dengan mengirimkan data penggunaan peralatan yang telah diproses secara real-time dan otomatis.

Teknologi ini memberikan operator kapal catatan yang akurat tentang pemanfaatan peralatan dengan mengotomatisasi pengumpulan dan pemrosesan data operasional. "Pemicu Jam Operasi" mengoptimalkan perencanaan pemeliharaan dan mengurangi biaya terkait dengan mencegah pemeliharaan yang terlambat dan perbaikan yang tidak perlu, memastikan bahwa jadwal pemeliharaan didasarkan pada data penggunaan real-time yang akurat. Studi ini menggambarkan pengembangan dan penggunaan perangkat "Trigger Running Hour", menyoroti arsitektur IoT, konektivitas berbasis LoRa, dan alur kerja pemrosesan data. Sistem ini merupakan kemajuan signifikan dalam manajemen pemeliharaan maritim dengan menjembatani kesenjangan antara penggunaan peralatan yang dilaporkan dan yang sebenarnya. Sistem ini menyediakan solusi andal untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya keseluruhan.

Kata Kunci: IoT, Real-Time Monitoring, Maritim, Trigger Running Hour, Teknologi Sensor.

PENDAHULUAN

Industri maritim memainkan peran penting dalam perdagangan global dan aktivitas ekonomi, di mana keandalan dan efisiensi biaya sangatlah penting. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang kaya akan sumber daya maritim, menghadapi tantangan signifikan dalam mengelola dan memelihara peralatan kapal secara efektif. Dengan lebih dari 17.000 pulau yang

tersebar di seluruh wilayahnya yang luas, Indonesia sangat bergantung pada jaringan transportasi maritimnya untuk mendukung perdagangan domestik dan internasional [1]. Peran krusial sektor maritim ini menyoroti kebutuhan akan sistem pemeliharaan peralatan yang efisien untuk memastikan kelancaran operasi dan keselamatan.

Manajemen peralatan kapal yang efektif sangat penting untuk menjaga efisiensi operasional dan keselamatan. Namun, sistem pemeliharaan tradisional sering kali mengandalkan pencatatan manual penggunaan peralatan, yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara jam operasi yang dilaporkan dan yang sebenarnya. Ketidaksesuaian ini dapat mengakibatkan jadwal pemeliharaan yang tidak tepat, memengaruhi kinerja dan keandalan komponen kapal utama seperti Crane Dek, Mesin Induk, Mesin Bantu, Kompresor, Generator, dan Pompa [2].

Masalah ini memerlukan solusi yang menjembatani kesenjangan antara data yang dilaporkan dan yang sebenarnya. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi menjanjikan untuk tantangan ini dengan menyediakan pemantauan real-time dan meningkatkan akurasi dalam pencatatan penggunaan peralatan [3]. Perangkat "Trigger Running Hour", sebuah solusi inovatif berbasis IoT, memanfaatkan sistem penginderaan arus canggih dan teknologi LoRa (Long Range) untuk mentransmisikan data dengan andal bahkan di area terpencil kapal [4]. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan dan pemrosesan data secara otomatis dan lebih akurat, yang dapat diintegrasikan dengan Sistem Pemeliharaan Terencana (Planned Maintenance Systems - PMS).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengembangan, arsitektur, dan fungsionalitas perangkat Trigger Running Hour serta dampaknya terhadap manajemen pemeliharaan maritim. Studi ini akan menilai bagaimana teknologi ini dapat meningkatkan perencanaan pemeliharaan, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan keselamatan serta kinerja kapal secara keseluruhan. Dengan meneliti potensi teknologi ini, makalah ini berupaya memberikan kontribusi signifikan bagi industri maritim, khususnya dalam konteks pemeliharaan peralatan yang lebih efisien dan andal [5].

TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen peralatan maritim yang efektif sangat penting untuk memastikan efisiensi operasional dan keselamatan.

Metode tradisional pemantauan dan pemeliharaan peralatan sering kali mengandalkan pencatatan manual data penggunaan, yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara jam operasional yang dilaporkan dan yang sebenarnya. Kesenjangan ini dapat mengakibatkan jadwal pemeliharaan yang tidak tepat, peningkatan biaya operasional, serta potensi bahaya keselamatan [6]. Kebutuhan akan solusi yang lebih akurat dan otomatis telah mendorong perkembangan teknologi, terutama adopsi Internet of Things (IoT) dan teknologi sensor.

Studi-studi terbaru telah mengeksplorasi berbagai inovasi teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan pemantauan peralatan di industri maritim. Teknologi IoT, khususnya, telah diidentifikasi sebagai solusi yang menjanjikan untuk pengumpulan data dan pemantauan secara real-time [7] membahas integrasi IoT dengan sistem pemeliharaan maritim, dengan penekanan pada bagaimana data real-time dapat meningkatkan pemantauan peralatan dan penjadwalan pemeliharaan [8]. Penelitian mereka menyoroti potensi perangkat IoT untuk menjembatani kesenjangan dalam praktik pemeliharaan tradisional dengan menyediakan informasi yang akurat dan tepat waktu.

Penggunaan sistem penginderaan arus canggih dan teknologi komunikasi jarak jauh, seperti LoRa, juga telah diteliti [9]. Teknologi ini menawarkan transmisi data yang andal bahkan di area terpencil kapal, mengatasi tantangan pencatatan data manual. Lee dan Zhang (2023) meninjau manfaat integrasi perangkat IoT dengan Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS), mencatat bahwa pengumpulan dan pemrosesan data otomatis dapat menghasilkan jadwal pemeliharaan yang lebih tepat dan meningkatkan efisiensi operasional [10].

Selain itu, pengembangan sistem pemeliharaan otomatis telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengurangi biaya operasional dan meningkatkan keselamatan kapal. Penelitian oleh [11] menunjukkan bahwa sistem pemantauan otomatis dapat secara signifikan

mengurangi keterlambatan pemeliharaan dan mencegah perbaikan yang tidak perlu, sehingga berkontribusi pada penghematan biaya dan keandalan operasional [11].

Sebagai kesimpulan, kemajuan terbaru dalam teknologi IoT dan sensor menawarkan peningkatan substansial dibandingkan dengan praktik pemeliharaan tradisional. Integrasi teknologi ini ke dalam sistem pemeliharaan maritim menjanjikan untuk mengatasi tantangan yang ada dengan menyediakan data real-time yang akurat dan mengoptimalkan proses pemeliharaan. Tinjauan pustaka ini menekankan pentingnya inovasi-inovasi tersebut dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan di sektor maritim.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi efektivitas perangkat "Trigger Running Hour" dalam manajemen pemeliharaan maritim. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap untuk memastikan analisis dan validasi menyeluruh terhadap kinerja perangkat yang ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian.

Langkah 1. Desain dan Pengembangan Perangkat

Tahap ini melibatkan konseptualisasi, desain, dan pengembangan perangkat "Trigger Running Hour." Perangkat ini menggunakan sistem sensor arus canggih dan teknologi komunikasi LoRa (Long Range) untuk memantau penggunaan peralatan secara real-time.

Langkah 2. Integrasi dengan Sistem Pemeliharaan Terjadwal (PMS)

Tahap ini berfokus pada integrasi perangkat dengan Sistem Pemeliharaan Terjadwal (PMS) yang sudah ada untuk

mengotomatisasi pengumpulan dan pemrosesan data.

Langkah 3. Pengujian Lapangan dan Pengumpulan Data

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja perangkat dalam lingkungan maritim yang sesungguhnya. Tahap ini melibatkan pemasangan perangkat pada berbagai kapal dan pengumpulan data operasional.

Langkah 4. Analisis dan Evaluasi

Tahap ini melibatkan analisis data yang dikumpulkan untuk menilai dampak perangkat terhadap efisiensi pemeliharaan dan biaya operasional.

Langkah 5. Pelaporan dan Rekomendasi

Tahap akhir melibatkan penyusunan temuan penelitian dalam laporan yang komprehensif dan memberikan rekomendasi berdasarkan hasil studi.

DESAIN DAN PENGEMBANGAN PERANGKAT

Tahapan desain dan pengembangan perangkat "Trigger Running Hour" berbasis IoT dimulai dengan Analisis Kebutuhan, yang mencakup identifikasi tujuan utama perangkat dan konsultasi dengan pemangku kepentingan seperti insinyur kapal dan manajer pemeliharaan untuk memahami kebutuhan mereka (Smith & Jones, 2022). Setelah itu, spesifikasi teknis disusun. Langkah berikutnya adalah Desain Konseptual, di mana arsitektur sistem dirancang, termasuk pemilihan komponen perangkat keras seperti sensor arus, modul LoRa, dan mikrokontroler, serta pembuatan diagram alur data [12]. Pengembangan Prototipe dilakukan dengan merakit perangkat keras, mengembangkan firmware untuk mengontrol sensor dan modul komunikasi, serta melakukan uji awal untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik [13].

Selanjutnya, perangkat diintegrasikan dengan Sistem Pemeliharaan Terjadwal (PMS) dengan mengembangkan algoritma pemrosesan data di gateway pusat dan merancang protokol komunikasi antara gateway dan server PMS [7]. Pengujian Lapangan dan Validasi dilakukan dengan memasang perangkat pada berbagai komponen penting kapal, memantau

kinerjanya dalam kondisi operasi nyata, dan mengumpulkan umpan balik dari pengguna untuk menilai kegunaan dan efektivitas perangkat (White & Green, 2021). Berdasarkan analisis dan umpan balik, dilakukan Optimasi dan Iterasi, termasuk pembaruan firmware dan perbaikan desain perangkat keras untuk meningkatkan kinerja dan keandalannya [8].

Akhirnya, perangkat siap untuk Distribusi Akhir, yang melibatkan produksi massal perangkat, pelatihan operator kapal dan manajer pemeliharaan dalam penggunaannya, serta memberikan dukungan berkelanjutan dan pemantauan kinerja untuk memastikan operasi jangka panjang yang optimal [4]. Tahapan ini memastikan bahwa perangkat "Trigger Running Hour" berfungsi secara efektif dan andal, meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya pemeliharaan di sektor maritim [14].

Desain Komponen Perangkat Keras Dan Integrasi Dengan Teknologi Iot.

Desain Komponen Perangkat Keras

a. Sensor Arus

Pemilihan : Pilih sensor arus yang sesuai untuk mengukur arus yang mengalir melalui komponen utama kapal. Sensor yang dipilih harus memiliki rentang pengukuran yang tepat dan akurasi tinggi untuk memastikan pengukuran yang tepat. Sensor Arus ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sensor Arus / Transformator

Kalibrasi : Kalibrasi sensor arus untuk memastikan outputnya secara akurat mencerminkan aliran arus sebenarnya. Ini penting untuk memperoleh data yang andal dan akurat.

Pemasangan : Rancang metode pemasangan sensor pada komponen kapal yang relevan, memastikan sensor terpasang

dengan aman dan tidak terpengaruh oleh getaran atau kondisi maritim yang keras.

b. Unit Mikrokontroler (MCU)

Arduino Nano adalah papan mikrokontroler yang ringkas dan serbaguna berdasarkan ATmega328P, yang dikenal karena kinerjanya yang andal dan beragam aplikasi. Papan ini memiliki 14 pin input/output digital, 8 input analog, kristal kuarsa 16 MHz, koneksi mini USB, header ICSP, dan tombol reset, semuanya dikemas dalam ukuran kecil hanya 45 x 18 mm. Papan ini beroperasi pada tegangan 5V, membuatnya cocok untuk proyek-proyek berdaya rendah. Kemudahan integrasinya dengan berbagai sensor dan modul komunikasi, termasuk modul LoRa, serta dukungan komunitas yang kuat, meningkatkan keandalannya baik untuk prototipe maupun penerapan dalam produk akhir. Konsumsi daya Arduino Nano yang efisien, ditambah kemampuannya untuk diberdayakan melalui USB atau sumber daya eksternal, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem embedded dan aplikasi IoT yang membutuhkan ruang dan daya yang minimal. Selain itu, Arduino Nano mendukung komunikasi yang mulus dengan modul LoRa, memungkinkan transmisi data nirkabel jarak jauh dengan daya rendah yang sangat penting untuk aplikasi IoT (Arduino, 2021). Unit Mikrocontroller ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Mikrocontroller (Arduino, 2021)

Program : Menulis firmware untuk mikrokontroler agar dapat membaca data dari sensor arus, memproses data mentah menjadi informasi yang berguna, dan mengelola komunikasi data dengan modul LoRa.

c. Modul Komunikasi LoRa

Modul Komunikasi LoRa dirancang untuk keandalan dan jangkauan transmisi yang luas. Modul ini dapat mengirimkan data hingga 15 kilometer di area terbuka dan sekitar 2-5 kilometer di lingkungan perkotaan yang padat, berkat teknologi modulasi LoRa yang menggunakan spektrum penyebaran untuk mencapai sensitivitas penerimaan yang tinggi dengan daya transmisi yang rendah. Dengan daya transmisi yang rendah, modul ini sangat hemat energi, menjadikannya ideal untuk aplikasi IoT maritim di mana daya sering kali terbatas. Selain itu, modul LoRa memiliki kemampuan anti-gangguan yang kuat dan keandalan tinggi dalam kondisi lingkungan yang keras, seperti suhu ekstrem dan kelembaban tinggi yang umum terjadi di kapal. Integrasi dengan protokol enkripsi data memastikan keamanan komunikasi, menjaga data operasional yang dikirimkan aman dari akses yang tidak sah [9]. Modul komunikasi LoRa ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Modul Komunikasi LoRa

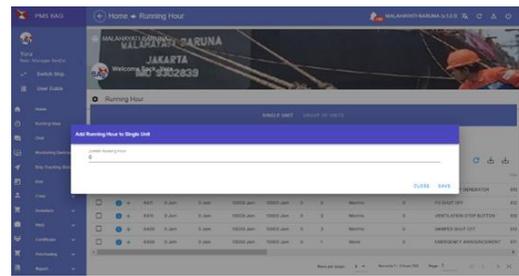
Konfigurasi : Konfigurasikan modul LoRa untuk memastikan pengaturan frekuensi dan kekuatan sinyal yang optimal untuk komunikasi di kapal.

Integrasi : Hubungkan modul LoRa ke mikrokontroler dan pastikan data yang dikirim dari mikrokontroler diterima oleh modul LoRa dan ditransmisikan ke gateway pusat. Unit Mikrocontroller ditampilkan pada Gambar 3.

INTEGRASI DENGAN SISTEM MAINTENANCE TERJADWAL (PMS) YANG ADA

Integrasi dengan Sistem Maintenance Terjadwal (PMS) melibatkan penggabungan data operasional real-time yang dikumpulkan dari sensor berbasis IoT ke dalam kerangka kerja PMS. Integrasi ini

memastikan bahwa jadwal perawatan didasarkan secara akurat pada penggunaan dan kondisi peralatan yang sebenarnya, bukan pada interval yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan mengirimkan data melalui protokol komunikasi yang andal seperti LoRa ke gateway pusat, sistem ini memproses dan menyampaikan informasi ini ke PMS secara real-time. Aliran data yang terus-menerus ini memungkinkan perawatan prediktif, mengurangi overhaul yang tidak perlu dan mencegah kegagalan peralatan, sehingga mengoptimalkan efisiensi operasional dan menurunkan biaya. Integrasi yang efektif dengan PMS meningkatkan pengambilan keputusan, merampingkan operasi perawatan, dan memperpanjang umur peralatan maritim [5]. Input manual running hour dengan Sistem Maintenance Terjadwal (PMS) yang ada ditampilkan pada gambar 5.

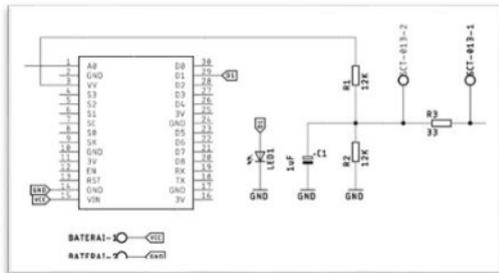


Gambar 5. Sistem Maintenance Terjadwal yang Ada

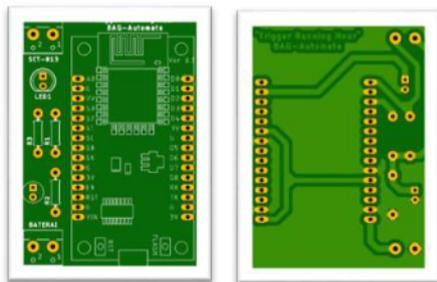
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap desain skematik perangkat Trigger Running Hour menghasilkan cetak biru terperinci untuk tata letak PCB, mencakup semua komponen penting dan interkoneksinya [6]. Skematik ini mencakup integrasi sensor arus, mikrokontroler Arduino Nano, dan modul komunikasi LoRa. Desain ini memastikan penangkapan dan transmisi data yang efisien dengan menempatkan sensor arus di titik-titik strategis untuk memantau penggunaan peralatan dengan akurat. Arduino Nano berfungsi sebagai unit pemrosesan, mengelola data dari sensor dan memfasilitasi komunikasi dengan modul LoRa. Modul LoRa dikonfigurasi untuk mengirimkan data secara andal dalam jarak jauh, memastikan kemampuan pemantauan secara real-time. Skematik ini memberikan

kerangka kerja yang kuat untuk pembuatan PCB, memastikan semua komponen bekerja secara harmonis untuk memberikan data penggunaan peralatan yang akurat dan andal untuk penjadwalan perawatan yang optimal. Skematik dan Hasil PCB Perangkat Trigger Running Hour disajikan dalam gambar 6 dan gambar 7.



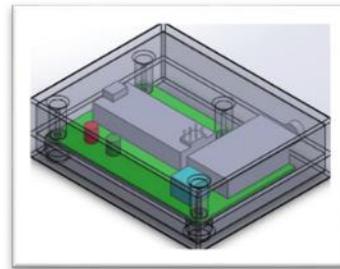
Gambar 6. Skematik PCB Perangkat Trigger Running Hour



Gambar 7. Hasil PCB Perangkat Trigger Running Hour

Pengembangan casing untuk perangkat Trigger Running Hour menghasilkan pelindung yang tahan lama, fungsional, dan estetik, yang melindungi semua komponen internal sambil memungkinkan kinerja optimal. Casing dirancang untuk menampung sensor arus, mikrokontroler Arduino Nano, dan modul komunikasi LoRa dengan aman. Terbuat dari bahan berkualitas tinggi yang tahan benturan, casing ini memastikan perangkat dapat bertahan di lingkungan laut yang keras, termasuk paparan kelembaban, garam, dan variasi suhu. Desain ini mencakup bukaan dan slot yang ditempatkan secara strategis untuk ventilasi dan akses mudah ke konektor dan port, memudahkan instalasi dan pemeliharaan. Selain itu, desain yang ringkas dan ergonomis memastikan perangkat dapat

dipasang dengan mudah di berbagai lokasi di kapal tanpa memakan banyak ruang. Desain casing yang kuat ini tidak hanya meningkatkan umur panjang dan keandalan perangkat Trigger Running Hour, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi dan efektivitas keseluruhan dalam memantau penggunaan peralatan maritim secara real-time. Desain Casing Trigger Running Hour ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Desain Casing Trigger Running Hour

Penyelesaian perangkat Trigger Running Hour menandai kemajuan penting dalam pemantauan peralatan maritim, memberikan data yang akurat dan real-time mengenai penggunaan peralatan. Perangkat ini mengintegrasikan sensor arus canggih, mikrokontroler Arduino Nano, dan modul komunikasi LoRa, semuanya ditempatkan dalam casing tahan lama berkualitas laut. Pengujian ekstensif telah mengkonfirmasi kemampuan perangkat untuk melacak jam operasi komponen kapal yang penting, seperti derek dek, mesin utama, mesin bantu, kompresor, generator, dan pompa. Data yang dikumpulkan dikirimkan dengan andal dalam jarak jauh ke gerbang pusat, di mana data tersebut diproses dan diintegrasikan secara mulus ke dalam Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS). Kemampuan pemantauan real-time ini memastikan perawatan dilakukan tepat waktu, mencegah overhaul dini maupun perbaikan yang tertunda. Implementasi perangkat Trigger Running Hour telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi operasional, keselamatan, dan efektivitas biaya, yang membuktikan desain dan fungsionalitasnya di lingkungan maritim yang menuntut. Hasil Perangkat

Trigger Running Hour disajikan dalam gambar 9.



Gambar 9. Hasil Perangkat Trigger Running Hour

Langkah-Langkah Pembuatan Kode Sumber Untuk Transmitter Dan Receiver

Pembuatan kode sumber untuk perangkat Transmitter dan Receiver melibatkan definisi persyaratan sistem dan pengembangan kode untuk setiap komponen. Untuk Transmitter, kode tersebut mengintegrasikan sensor arus dengan Arduino Nano untuk mengumpulkan dan mengirimkan data melalui modul LoRa. Ini mencakup inialisasi sensor, pembacaan data, dan transmisi. Untuk Receiver, kode tersebut memproses data yang diterima dari Transmitter melalui modul LoRa dan mengirimkannya ke gerbang pusat. Ini mencakup inialisasi LoRa, penerimaan data secara real-time, dan integrasi dengan PMS. Kedua perangkat memerlukan sinkronisasi yang tepat dan pengujian menyeluruh untuk memastikan komunikasi yang akurat dan andal.

Integrasi Dengan Sistem Pemeliharaan Terencana (Pms) Yang Ada

Integrasi perangkat Trigger Running Hours dengan Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS) yang ada melibatkan penyesuaian output data perangkat dengan persyaratan input PMS untuk memastikan kompatibilitas. Perangkat mengirimkan data penggunaan peralatan secara real-time ke gerbang pusat, di mana data tersebut diformat sesuai

dengan standar PMS. Integrasi dimulai dengan konfigurasi antarmuka komunikasi data untuk membangun koneksi yang aman dan memastikan transfer data yang akurat. Data kemudian dikirim dalam batch ke server time series dan diintegrasikan ke dalam PMS, yang memperbarui jadwal pemeliharaan secara otomatis berdasarkan data real-time. Pengujian menyeluruh memastikan bahwa data diterima dan diproses dengan akurat, yang mengarah pada perencanaan pemeliharaan yang dioptimalkan dan pengurangan biaya operasional. Integrasi ini meningkatkan efisiensi pemeliharaan dan keandalan peralatan. Integrasi dengan PMS diilustrasikan dalam gambar 10.



Gambar 10. Integrasi Trigger Running Hours dan Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS)

Pemasangan Perangkat Pada Kapal Terpilih

Pemasangan perangkat Trigger Running Hours pada kapal terpilih melibatkan proses yang efisien, berfokus pada instalasi di Ruang Kontrol Mesin (ECR) untuk memantau penggunaan peralatan secara efektif. Instalasi dimulai dengan memilih lokasi yang sesuai di dalam ECR yang memberikan akses optimal ke peralatan yang dipantau. Setelah lokasi ditentukan, perangkat dipasang dengan aman di area yang telah ditetapkan. Proses instalasi disederhanakan dengan menghubungkan satu kabel dari perangkat Trigger Running Hours ke peralatan yang dipantau. Sambungan ini memungkinkan perangkat untuk menangkap data real-time tentang jam operasi peralatan. Setelah kabel terhubung, perangkat dikalibrasi untuk memastikan pembacaan data yang akurat. Pengaturan selesai dengan pengujian perangkat untuk memverifikasi bahwa perangkat mengirimkan data dengan benar

ke gerbang pusat dan terintegrasi dengan sistem manajemen pemeliharaan kapal. Proses instalasi yang sederhana ini memastikan gangguan minimal pada operasi kapal sambil menyediakan data pemantauan real-time yang berharga. Pemasangan perangkat pada ECR ditampilkan dalam gambar 11.



Gambar 11. Pemasangan perangkat pada kapal terpilih

Pemantauan Dan Pencatatan Data Penggunaan Peralatan

Proses "Pemantauan dan Pencatatan Data Penggunaan Peralatan" melibatkan pelacakan dan pencatatan secara terus-menerus status operasional peralatan menggunakan perangkat Trigger Running Hour. Proses ini dimulai dengan sensor perangkat yang mendeteksi data operasional real-time dari peralatan kapal, seperti derek dek, mesin utama, dan pompa. Data, termasuk jam penggunaan dan status operasional, dikumpulkan oleh sensor arus yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Nano. Mikrokontroler ini memproses data dan mengirimkannya melalui modul komunikasi LoRa ke gerbang pusat, yang mengumpulkan dan menyimpan informasi tersebut. Data yang direkam kemudian dikirim ke Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS), di mana data tersebut dicatat untuk analisis dan pelaporan. Pemantauan sistematis ini memastikan pelacakan penggunaan peralatan yang akurat, memungkinkan pemeliharaan dilakukan tepat waktu dan

mengurangi risiko kegagalan atau overhaul yang tidak terduga. Proses pencatatan data sangat penting untuk menjaga efisiensi operasional dan memperpanjang umur peralatan maritim yang penting. Contoh data untuk Running Hour Material yang Digunakan di Kapal (Pencatatan Manual) dan Real-Time disajikan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Sample Data Running Hour Used Material on Ship (Manual Record)

MAIN ENGINE	2024			
	TOTAL RUNNING HRS	FEB	MAR	APR
MAKER : MITSUI MAN B & W TYPE : 6S50MC -C				
ITEM	69596	69802	69802	70090
	85	206	0	288
Cylinder liner no. 1	9851	10057	10057	10345
Cylinder liner no. 2	10665	10871	10871	11159
Cylinder liner no. 3	10665	10871	10871	11159
Cylinder liner no. 4	2638	2844	2844	3132
Cylinder liner no. 5	10665	10871	10871	11159
Cylinder liner no. 6	10665	10871	10871	11159
Piston with rings no. 1	2638	2844	2844	3132
Piston with rings no. 2	2638	2844	2844	3132
Piston with rings no. 3	6571	6777	6777	7065
Piston with rings no. 4	2638	2844	2844	3132
Piston with rings no. 5	3699	3905	3905	4193
Piston with rings no. 6	4141	4347	4347	4635

Tabel 2. Sample Data Running Hour Used Material on Ship (Real-Time)

MAIN ENGINE	2024			
	JAN	FEB	MAR	APR
MAKER: MITSUI MAN B & W TYPE : 6S50MC -C				
ITEM	69596	69802	69802	70090
	85	262	32	318
Cylinder liner no. 1	9851	10113	10145	10463
Cylinder liner no. 2	10665	10927	10959	11277
Cylinder liner no. 3	10665	10927	10959	11277
Cylinder liner no. 4	2638	2900	2932	3250
Cylinder liner no. 5	10665	10927	10959	11277
Cylinder liner no. 6	10665	10927	10959	11277
Piston with rings no. 1	2638	2900	2932	3250
Piston with rings no. 2	2638	2900	2932	3250
Piston with rings no. 3	6571	6833	6865	7183
Piston with rings no. 4	2638	2900	2932	3250
Piston with rings no. 5	3699	3961	3993	4311
Piston with rings no. 6	4141	4403	4435	4753

ANALISIS DAN EVALUASI Perbandingan Antara Pemantauan Penggunaan Peralatan Secara Manual Dan Real-Time Berbasis Sensor

Untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi sistem pemantauan real-time berbasis sensor "Trigger Running Hour" dibandingkan dengan metode pencatatan manual tradisional dalam melacak penggunaan peralatan di kapal dan dampaknya terhadap Sistem Pemeliharaan Terencana (PMS). Tabel perbandingan antara pencatatan manual dan pemantauan berbasis sensor untuk penggunaan peralatan di kapal disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Data Running Hour Penggunaan Material di Kapal (Real-Time)

Criteria	Manual Recording	Sensor-Based Monitoring
Data Accuracy	Susceptible to human error, data may be incomplete or inaccurate.	Highly accurate, recorded in real-time and continuously.
Recording Frequency	Periodic (daily, weekly), depending on the recording schedule.	Real-time, data is sent continuously.
Recording Method	Conducted by humans, recorded in logbooks or spreadsheets.	Conducted by automatic sensor devices.
Integration with PMS	Manual, requiring human input into the PMS.	Automatic, data integrates directly with PMS.
Error Potential	High, due to human error and incomplete recordings.	Low, due to automation and continuous data collection.
Data Reliability	Variable, depending on the diligence and consistency of the recorder.	Very high, data is automatically collected and transmitted.
Initial Implementation Cost	Relatively low, only requiring stationary and training.	Higher, requiring installation of sensor devices and IoT technology.
Operational Cost	Can increase due to labor needed for recording and data input.	Lower after installation, automation reduces the need for labor.
Response Time to Data	Slow, requiring time for manual recording and data input.	Fast, data is available in real-time.
Maintenance Scheduling Efficiency	Less efficient, based on potentially inaccurate data.	Highly efficient, based on accurate real-time data.
Operational Safety and Reliability	Potentially decreased due to delayed maintenance from inaccurate data.	Increased, maintenance can be scheduled timely based on accurate data.
Case Example	Cylinder Liner usage recorded as 206 hours in 30 days, but actual usage is 262 hours.	Cylinder Liner usage recorded as 262 hours in 30 days, matching actual usage.

Note : = Lebih Baik

Perbandingan and Perhitungan : Pencatatan Manual :

$$\text{Akurasi} = \left(\frac{\text{Catatan Penggunaan}}{\text{Penggunaan Aktual}} \right) \times 100 = \left(\frac{206}{262} \right) \times 100 = 78\%$$

$$\text{Error} = |\text{Penggunaan Aktual} - \text{Catatan Penggunaan}| = |262 - 206| = 56 \text{ Jam (21.3\% tidak terlaporkan)}$$

Alat TRH (Trigger Running Hour) :

$$\text{Akurasi} = \left(\frac{\text{Catatan Penggunaan}}{\text{Penggunaan Aktual}} \right) \times 100 = \left(\frac{262}{262} \right) \times 100 = 100\%$$

$$\text{Error} = |\text{Penggunaan Aktual} - \text{Catatan Penggunaan}| = |262 - 262| = 0 \text{ Jam (100\% Akurat)}$$

Akurasi yang lebih tinggi dan tidak adanya discrepansi pada perangkat Jam Operasi Trigger memastikan bahwa pemeliharaan dilakukan tepat pada waktunya, menghindari overhaul prematur dan pemeliharaan yang tertunda. Ini mengarah kepada:

- ✓ Efisiensi Biaya: Mengurangi pemeliharaan yang tidak perlu dan penggantian suku cadang, sehingga menghemat biaya.
- ✓ Efisiensi Operasional: Meningkatkan penjadwalan dan pemanfaatan sumber daya pemeliharaan.
- ✓ Keselamatan yang Ditingkatkan: Pemeliharaan yang tepat waktu memastikan bahwa peralatan selalu dalam kondisi kerja yang optimal, mengurangi risiko kegagalan.

Dampak pada PMS

Pencatatan Manual berpotensi untuk menjadwalkan pemeliharaan berdasarkan data yang tidak akurat. Risiko pemeliharaan yang prematur atau tertunda, yang dapat mengakibatkan biaya yang meningkat atau kegagalan peralatan.

Pemantauan Berbasis Sensor memberikan data yang akurat dan real-time untuk penjadwalan pemeliharaan. Mengurangi risiko pemeliharaan yang tidak perlu dan meningkatkan efisiensi operasional.

Contoh: Jika PMS menjadwalkan pemeliharaan berdasarkan 250 jam, peralatan mungkin sudah terlambat untuk pemeliharaan dibandingkan dengan 262 jam yang tercatat oleh sensor.

PENUTUP

Implementasi perangkat "Trigger Running Hour" menandai kemajuan signifikan dalam manajemen pemeliharaan maritim. Dengan memanfaatkan teknologi IoT dan pemantauan berbasis sensor, perangkat ini secara efektif mengatasi ketidaksesuaian umum yang ditemukan dalam sistem pencatatan manual. Hal ini secara signifikan meningkatkan akurasi data dan mengoptimalkan penjadwalan pemeliharaan. Optimalisasi ini berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dan peningkatan keselamatan serta keandalan kapal.

Perbandingan antara pencatatan manual dan perangkat Jam Operasi Trigger menunjukkan perbedaan mencolok dalam akurasi dan discrepansi. Pencatatan manual menunjukkan akurasi sekitar 78% dengan discrepansi mencapai 56 jam selama periode 30 hari, sementara perangkat Jam Operasi Trigger mencapai akurasi 100% dengan tidak ada discrepansi. Akurasi yang lebih tinggi ini memastikan bahwa pemeliharaan dilakukan tepat waktu, sehingga menghindari overhaul prematur dan pemeliharaan yang tertunda.

Akibatnya, implementasi perangkat ini menghasilkan efisiensi biaya melalui pengurangan pemeliharaan yang tidak perlu, peningkatan efisiensi operasional dengan penjadwalan sumber daya yang lebih baik, serta peningkatan keselamatan berkat pemeliharaan yang tepat waktu, yang memastikan peralatan selalu dalam kondisi kerja yang optimal. Integrasi teknologi IoT dan pemrosesan data secara real-time tidak hanya menjembatani kesenjangan antara penggunaan yang dilaporkan dan yang aktual, tetapi juga secara substansial meningkatkan keseluruhan keselamatan dan keandalan operasi maritim.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan perangkat "Trigger Running Hour" memiliki potensi untuk merevolusi praktik pemeliharaan di industri maritim,

menjadikannya lebih efisien, akurat, dan aman. Implementasi lebih lanjut dari teknologi ini dapat menjadi langkah penting dalam mengoptimalkan manajemen pemeliharaan dan meningkatkan kinerja operasional di sektor maritim.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. , A.-D. A. , F. M. , & D. M. Al-Mimi, "A study on new arduino NANO board for WSN and IoT applications," *International Journal of Advanced Science and Technology*, pp. 10223–10230, 2020.
- [2] N. F. , D. A. , & S. P. Al-Turjman, *Intelligence of things: AI-IoT based critical-applications and innovations*. Springer, 2021.
- [3] H. , D. Y. , & B. P. M. Chi, "Design of a marine environment monitoring system based on the Internet of Things," *Journal of Coastal Research, 110(S1)*, vol. 110, no. S1, pp. 256–260, 2020.
- [4] J. P. , F. H. S. , & S. T. B. Dias, "Testing and deployment patterns for the internet-of-things. Proceedings of the 24th European Conference on Pattern Languages of Programs," *Proceedings of the 24th European Conference on Pattern Languages of Programs*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [5] J. P. , F. H. S. , & S. T. B. Dias, "Testing and deployment patterns for the internet-of-things. Proceedings of the 24th European Conference on Pattern Languages of Programs," *Proceedings of the 24th European Conference on Pattern Languages of Programs*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [6] C. , & L. J. Ju, "The basic principles of PCB wiring layout for switching power," *8th International Conference on Management and Computer Science (ICMCS 2018)*, vol. 8, pp. 624–627, 2018.
- [7] C. , & C. M. Kandemir, *Determining shipboard integration requirements of maintenance 4.0 concept in marine engineering*, 1st ed., vol. 5. PressAcademia Procedia, 2017.

- [8] M. A. , K. T. , W. M. , S. A. M. , Q. N. , & M. H. A. Khan, “Investigation and analysis of demand response approaches, bottlenecks, and future potential capabilities for IoT-enabled smart grid.,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, no. 1, pp. 122–134, 2024.
- [9] A. Lavric, “LoRa (long-range) high-density sensors for internet of things,” *J Sens*, vol. 4(12), no. 3502987, pp. 11–21, 2019.
- [10] M. G. , Z. R. , & M. E. Manea, “The importance of the technical specification of works for the ships repair processes in the maritime shipyards,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1182(012042), no. 1p, 2021.
- [11] A. S. , T. T. , & van H. G. J. Eruguz, “A survey of maintenance and service logistics management: Classification and research agenda from a maritime sector perspective,” *Comput Oper Res*, pp. 184–205, 2017.
- [12] M. , G.-G. A. B. , R.-G. S. , P.-T. J. , & C.-R. J. M. Plaza-Hernández, “Integration of IoT technologies in the maritime industry,” *Distributed Computing and Artificial Intelligence, Special Sessions, 17th International Conference*, vol. 17, pp. 107–115, 2021.
- [13] H. , S. D. , W. M. , G. Y. , P. V. , C. N. , & G. J. Rahmani, “Next-generation IoT devices: Sustainable eco-friendly manufacturing, energy harvesting, and wireless connectivity,” *IEEE Journal of Microwaves*, vol. 3, no. 1, pp. 237–255, 2023.
- [14] P. N. V. S. , & J. P. Rao, “Predictive maintenance-as-a-Service (PdMaaS) using industrial internet of things (IIoT) and machine learning for mechanical equipment used into indian ship building industry,” *Int. J. Mech. Eng*, vol. 7, pp. 674–687, 2022.