



Perancangan Sistem Digitalisasi *Monitoring Data RPM Engine* dan Temperatur Minyak Lubrikan Kapal Berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan Metode Simulasi *Prototype ESP32*

Syarifah Ahdi Agustini¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Wilma Amiruddin³⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : syarifahahdi@students.undip.ac.id, imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id, wisilmiw@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)* pada permesinan kapal mendukung upaya pemeliharaan *predictive maintenance* yang memanfaatkan peralatan berteknologi tinggi seperti sensor dan satelit komunikasi untuk memonitor peralatan serta mendeteksi kerusakan sebelum terjadinya kegagalan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang model sistem *monitoring* RPM mesin dan temperatur minyak lubrikan kapal berbasis IoT dengan menggunakan simulasi *prototype*. Sensor encoder berfungsi untuk membaca data RPM dan sensor DS18B20 untuk pembacaan data temperatur minyak lubrikan diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan jaringan internet, sehingga didapatkan pelaporan data yang akurat secara *real-time*. Perancangan penerapan teknologi IoT pada permesinan kapal menggunakan sensor-sensor dan jaringan internet berpedoman pada Peraturan BKI Kapal Tak Berawak *Section 8* terkait Pengendalian dan Pengoperasian Jarak Jauh. Hasil dari pengujian dan analisis kerja *prototype* sistem yang telah dirancang menunjukkan mikrokontroler ESP32 dapat digunakan untuk *monitoring* kondisi RPM mesin dan suhu minyak lubrikan dengan masing-masing nilai presentase *error* sebesar 1,305% untuk sensor encoder dan 0,972% untuk sensor DS18B20. Keunggulan penerapan sistem *monitoring* berbasis IoT antara lain, kondisi mesin dapat dipantau secara *real-time* menggunakan aplikasi/*web dashboard* yang dapat diakses oleh operator di kapal dan/atau operator jarak jauh di pelabuhan, mengirimkan peringatan kondisi operasi serta sebagai *support decision making* bagi operator mesin apabila terjadi kondisi tidak normal.

Kata Kunci : *Internet of Things (IoT), Monitoring, RPM engine, Lubrikasi*

1. PENDAHULUAN

Mesin diesel umumnya digunakan sebagai mesin penggerak utama kapal yang beroperasi secara terus menerus dalam upaya mengoptimalkan utilitas kapal. Mesin diesel merupakan salah satu mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik untuk memutar *propeller* sehingga kapal dapat melaju [1]. Agar mesin diesel dapat berfungsi dengan baik, permesinan kapal dilengkapi dengan beberapa sistem pendukung yang baik pula, salah satunya adalah sistem lubrikasi.

Sistem lubrikasi pada mesin induk kapal berfungsi untuk meminimalisir gesekan antar

komponen, mencegah keausan berlebih pada permukaan komponen, melindungi dari korosi, melepaskan panas akibat gesekan, serta sebagai salah satu media pendingin dan peredam suara mesin [2]. Sistem pelumasan yang kurang baik dapat mengakibatkan kerusakan mesin berat yang membutuhkan biaya perbaikan yang sangat besar. Naiknya temperatur minyak lubrikan secara ekstrem (*overheat*) yang tidak terkontrol akibat menurunnya kinerja *thermostat* pada komponen *oil cooler* merupakan salah satu faktor utama kegagalan sistem lubrikasi [3,4]. Kegagalan tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan pengecekan berkala sebagai suatu upaya mitigasi agar tidak terjadi kegagalan yang fatal serta meningkatkan keandalan komponen mesin.

Kegiatan pengawasan terhadap kondisi operasional mesin induk dan sistem penunjang seperti sistem pelumasan umumnya dilakukan secara manual dengan memeriksa langsung ke ruang mesin. Kegiatan ini mengakibatkan kerja crew menjadi tidak efisien. Seiring dengan berkembangnya teknologi, mulai dilakukan beberapa percobaan penggunaan sensor dan sistem berteknologi tinggi untuk melakukan pengawasan dan mendeteksi kerusakan mesin sebelum terjadinya kegagalan. Strategi perawatan tersebut menerapkan konsep pendekatan *predictive maintenance* dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai upaya meningkatkan keandalan permesinan kapal dan mengurangi biaya perawatan dengan mengubah perspektif strategi perawatan menjadi “*predict-and-prevent*” [5]. Selain itu, dengan kolaborasi antara *smart sensor* IoT dengan satelit komunikasi seperti Inmarsat dapat mendukung komunikasi antara crew di atas kapal dengan officer, manajer, dan/atau pihak manufaktur di daratan (*on shore*) dalam membantu proses penentuan keputusan terkait operasi mesin [6].

Predictive maintenance merupakan proses inspeksi sebuah asset dengan memanfaatkan beberapa instrumen atau teknologi yang bersifat sangat efektif karena dapat mendeteksi durasi waktu kritis hingga terjadinya kegagalan [7]. *Predictive maintenance* memanfaatkan sensor-sensor untuk memonitor peralatan dan kemudian mengirimkan data yang telah ditangkap sensor tersebut ke *cloud* untuk dianalisa.

Sedangkan *Internet of Things* (IoT) adalah sebuah sistem yang terintegrasi dengan konektivitas perangkat cerdas untuk mendeteksi dan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dalam rangka mendapatkan informasi dan *feedback* secara *real-time* yang memanfaatkan jaringan lokal, GPS atau internet untuk dapat tersambung dengan sensor, *controller*, mesin, pekerja/operator dan lainnya secara bersamaan dalam sebuah jaringan [8]. Sensor-sensor IoT yang dipasang pada peralatan permesinan sangat mendukung konsep *predictive maintenance* karena dapat membantu proses pengumpulan data dan pengawasan mesin dari jarak jauh sehingga akan sangat membantu para *engineers* dan profesional untuk menentukan keputusan apabila mesin mengalami malfungsi yang selama ini masih menjadi kesulitan bagi mereka [9]. Pemanfaatan teknologi IoT telah banyak diterapkan di beberapa industri seperti bidang peternakan, kesehatan, transportasi, dan manufaktur tetapi pemanfaatan konsep IoT masih sangat jarang diterapkan pada industri perkapalan.

Hasil penelitian penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada permesinan kapal dengan

metode eksperimental dan menggunakan modul Wemos D1 Mini sebagai mikrokontroler yang dilengkapi modul WiFi, menunjukkan dari 10 sampel uji *prototype* sensor RPM mendapatkan presentase keberhasilan pembacaan sensor sebesar 100%. Sedangkan sensor PT 100 mendapatkan presentase keberhasilan sebesar 90% dimana sensor mulai tidak bekerja saat temperatur minyak lubrikan mencapai $>82^{\circ}\text{C}$ [10].

Penelitian serupa juga dilakukan pada pompa *cooling water* kapal *Chemical Tanker* 4310 Gross Tonnage. Variabel penelitian berupa besaran arus listrik yang masuk ke motor pompa, temperatur motor, dan efek vibrasi pompa dianalisis menggunakan *Node-RED interface* yang terhubung jaringan internet lokal sehingga sistem dapat dikontrol menggunakan komputer, tablet, ataupun *smartphone*. Sistem berhasil menampilkan data pada *dashboard* dan mengirimkan peringatan apabila mesin bekerja dengan temperatur di atas 45°C , arus listrik pada pompa melebihi 17.5A, dan pompa mengalami vibrasi lebih dari 2 mm/s [11].

Penelitian lain terkait penerapan IoT pada peralatan elektrik di pesawat terbang (*aircraft*) dilakukan untuk mendeteksi kerusakan dengan melakukan simulasi menggunakan sensor arus, sensor temperatur, sensor vibrasi, dan Arduino Uno sebagai mikrokontroler. Keseluruhan sistem diatur menggunakan *Node-RED* dimana data-data yang didapatkan sensor dianalisis menggunakan MATLAB dan disimpan serta disajikan dalam bentuk web *dashboard Thing Speak*. Sistem tersebut juga dilengkapi pemberitahuan (*maintenance alert*) apabila motor beroperasi di atas batas kondisi kerja yaitu apabila nilai temperatur melebihi 70°C , arus yang masuk lebih dari 5A, dan vibrasi motor melebihi 0.9g [12].

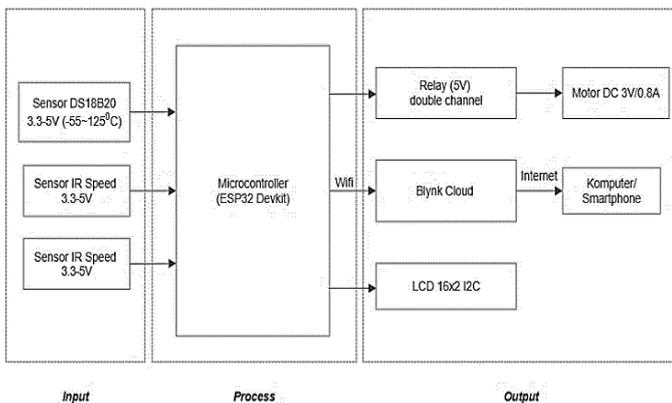
Penelitian ini bertujuan merancang konsep sistem digital *monitoring* operasional sistem pelumasan *main engine* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mempermudah crew kapal dan operator di darat (*on shore*) sehingga dapat memantau kerja mesin, mendapatkan pelaporan yang akurat serta mendapatkan peringatan terkait kerja mesin yang abnormal tanpa harus datang ke area mesin dengan menggunakan sensor suhu pada minyak pelumas dan sensor RPM pada *main engine*. Data-data hasil pembacaan akan disajikan pada web *dashboard* dan aplikasi *Blynk* IoT. Selain itu, sistem juga dilengkapi pengamanan *relay* untuk menghindari kegagalan mesin. Pembuatan dan penggunaan *hardware* dan *software prototype* dilakukan sebagai validasi dan menguji keberhasilan perancangan sistem *monitoring main engine* kapal serta menganalisa kerja sistem yang dirancang.

2. METODE

Objek dalam penelitian ini adalah *marine diesel engine* dengan daya maksimal 169kW pada 4000 RPM yang menggunakan minyak lubrikan *grade* SAE 40 (temperatur kerja normal 45°C) untuk dilakukan perbandingan antara kondisi simulasi *prototype* dengan kondisi sebenarnya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode simulasi percobaan *prototype* mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi sensor suhu minyak lubrikan dan sensor RPM mesin. Terdapat 2 jenis *prototype* yang dibangun dalam penelitian ini yaitu *prototype* perangkat keras sistem berupa rangkaian mesin, sensor, dan mikrokontroler serta *prototype* perangkat lunak sistem yang berupa pemrograman sistem *monitoring* digital. Rancang bangun *prototype* sistem *monitoring* RPM *engine* dan temperatur minyak lubrikan pada mesin induk kapal bertujuan untuk memudahkan pengujian dan verifikasi kerja sistem yang telah dirancang.

2.1. Blok Diagram Sistem

Perancangan *prototype* sistem penelitian ini terdiri dari 3 blok, yaitu *input*, *process*, dan *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram blok tersebut bertujuan untuk mengetahui peralatan yang dibutuhkan selama proses perancangan dan pembangunan *prototype*.



Gambar 1. Blok diagram *prototype* penelitian

Blok *input* terdiri dari 2 buah sensor encoder IR *Speed* masing-masing untuk pembacaan motor utama dan motor bantu (*auxiliary*) serta 1 buah sensor *Dallas Temperatur* DS18B20. Sensor encoder berfungsi untuk mengukur dan membaca kecepatan RPM mesin/motor yang sedang beroperasi dengan prinsip kerja seperti halnya takometer. Sedangkan *dallas temperaure sensor* (DS18B20) berfungsi untuk mengukur dan membaca besaran suhu dari minyak lubrikan seperti halnya *thermostat* pada mesin induk kapal.

Bagian blok *process* menggunakan mikroprosesor ESP32 sebagai pengendali rangkaian *hardware prototype*. ESP32 akan menerima semua *input*/masukan untuk kemudian diproses sehingga menjadi perintah yang diteruskan ke perangkat output. Sketsa program pada mikrokontroler akan menjadi batasan serta perintah kerja sistem secara keseluruhan.

Terakhir pada blok *output*, data hasil keluaran dari sensor-sensor sistem *monitoring* RPM *engine* dan temperatur minyak lumas setelah diproses serta dianalisis oleh mikrokontroler akan ditampilkan pada layar LCD 16x2 dan *web/mobile dashboard* pada aplikasi *Blynk*. Mikrokontroler juga akan mengirimkan perintah ke *relay* untuk mengontrol kerja mesin dan memberikan peringatan ke *user* apabila sistem mendapati keadaan abnormal. LCD dan aplikasi *Blynk* juga akan menampilkan status kondisi mesin dan temperatur minyak lubrikan secara aktual

2.2. Rancang Bangun *Hardware Prototype*

Komponen-komponen yang digunakan dalam perancangan *hardware prototype* sistem *monitoring* RPM *engine* dan temperatur minyak lubrikan tercantum pada tabel 1.

Tabel 1. Komponen perangkat keras yang digunakan pada rangkaian *prototype*

No	Komponen	Tipe	Qty
1	Mikrokontroler	ESP32 Devkit <i>dual-core</i>	1 pcs
2	Baterai	Alkaline AA 1.5V	2 pcs
3	Sensor	RPM sensor Encoder Optocoupler IR <i>Speed</i> 4 pin 3.3-5V	2 pcs
		Temperatur sensor DS18B20 <i>Waterproof</i> 3.3-5V	1 pcs
4	Motor	DC Motor RS-380 3V 0.8A	2 pcs
5	<i>Breadboard</i>	<i>Breadboard medium</i> 400 <i>tie points</i>	1 pcs
6	LCD	LCD 16x2 I2C	1 pcs
7	<i>Relay</i>	<i>Relay dual-channel</i> 2x5V	1 pcs
8	Saklar	<i>Switch Mini</i> KCD1-11 6A 2 PIN 125V AC	1 pcs

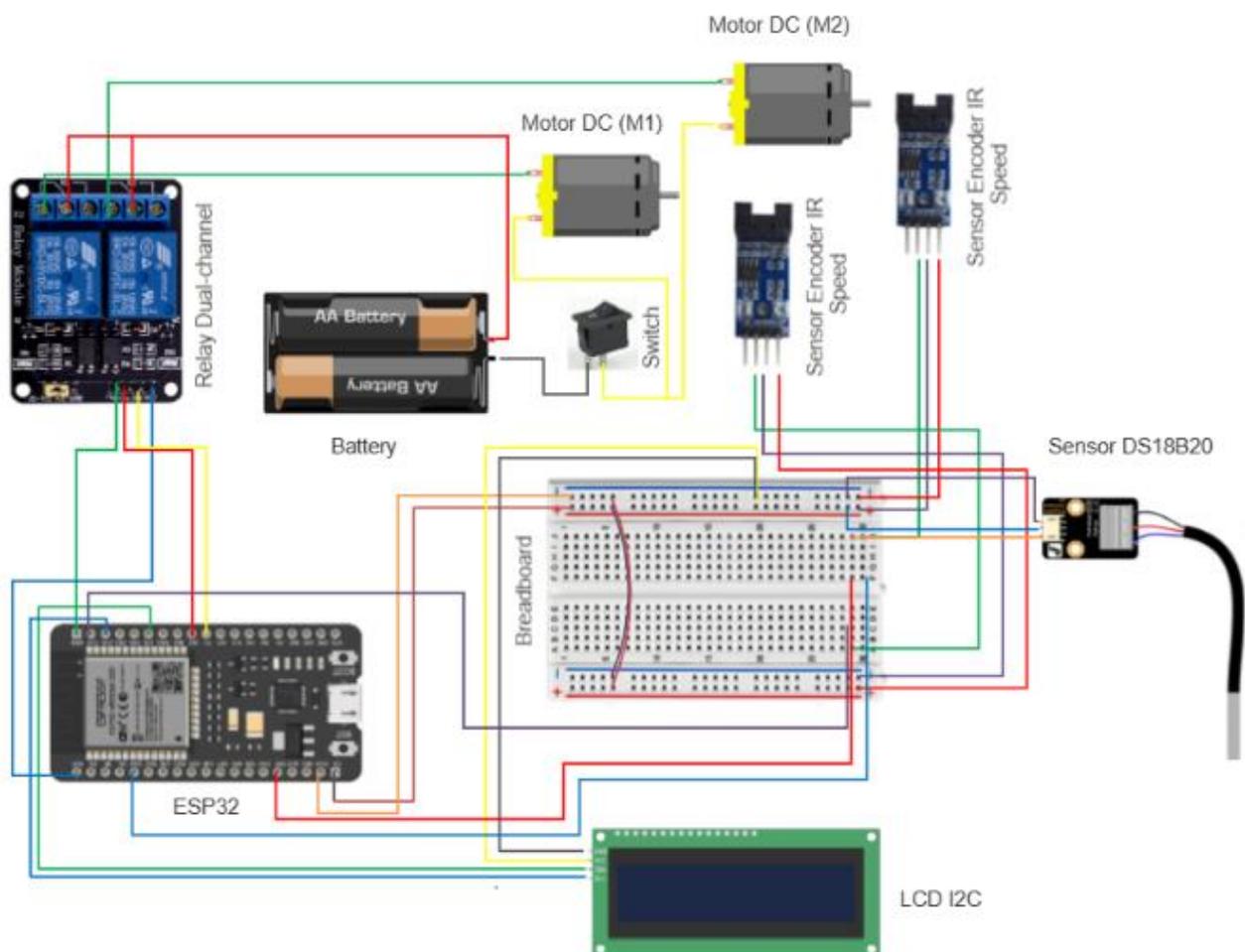
Mesin induk dan *auxiliary* kapal akan digantikan dengan 2 motor DC 3V yang masing-masing dilengkapi dengan sensor IR *speed* encoder optocoupler untuk pembacaan data RPM. Motor DC dihubungkan dengan saklar dan *relay double channel* 5V untuk mengatur suplai arus listrik dari 2 buah baterai Alkaline 1.5V yang masuk ke motor. Pada saat *relay* dalam kondisi menyala (*on*) motor

DC akan berputar, sedangkan apabila *relay* dalam kondisi mati (*off*) suplai arus akan terputus sehingga motor akan berhenti/mati. Masing-masing sensor dan modul disambungkan dengan mikrokontroler ESP32 sesuai dengan konfigurasi pin.

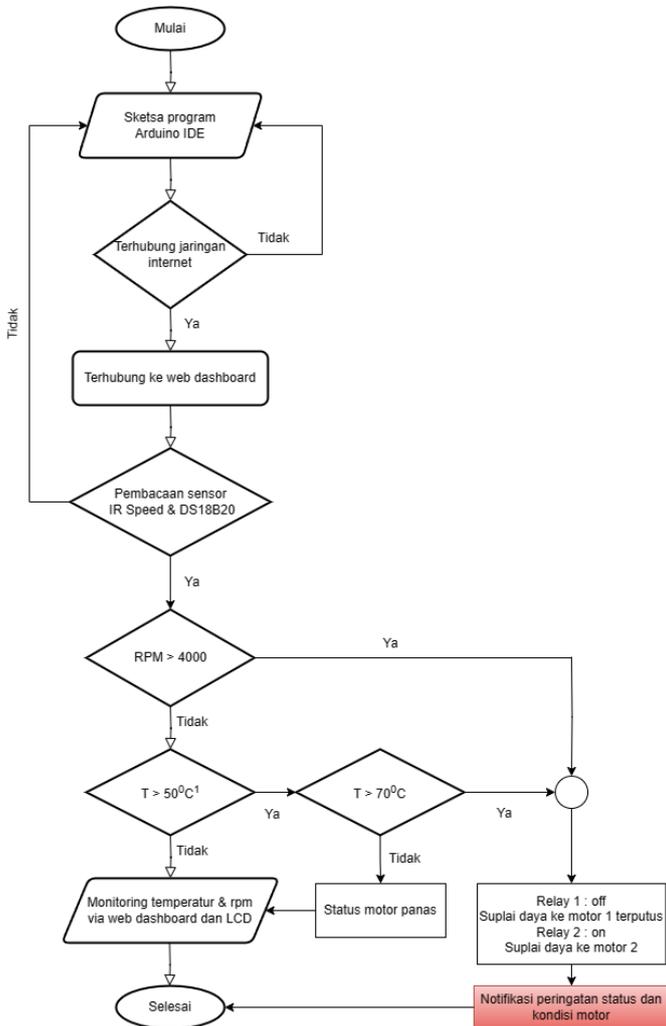
Penggunaan sensor PT100 sebagai sensor pembaca temperatur minyak lubrikan pada mesin diesel kapal direpresentasikan menggunakan sensor Dallas (DS18B20) yang bersifat *waterproof* dan memiliki ketahanan pada suhu antara $-55^{\circ}\text{C} \sim \pm 125^{\circ}\text{C}$. Pemilihan penggunaan sensor DS18B20 pada penelitian ini adalah karena sensor tersebut memiliki sinyal keluaran digital dan memiliki nilai akurasi serta ketahanan yang tinggi. *Probe* sensor terhubung dengan modul/terminal adapter untuk dapat disambungkan dengan mikrokontroler. Seluruh komponen rangkaian perangkat keras *prototype* sistem *monitoring* RPM *engine* dan *temperatur* minyak lubrikan kapal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

2.3. Rancang Bangun *Software Prototype*

Mikrokontroler selaku otak dan pengendali atas keseluruhan sistem memerlukan perintah agar dapat bekerja sesuai dengan maksud dan tujuan pembuatannya. Perintah tersebut dibuat dalam bentuk sketsa kode program pada *software* Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) dengan menggunakan bahasa pemrograman C/C++. Sketsa kode program Arduino IDE juga berisi perintah untuk mengintegrasikan rangkaian *hardware* dengan aplikasi dan web *cloud* *Blynk* agar data dapat disajikan secara *real-time* dan mengirimkan peringatan sistem apabila mesin beroperasi dalam kondisi abnormal. Perintah sketsa program tersebut secara garis besar berisi beberapa kondisi kontrol yang diatur berdasarkan *manual book* dari pihak manufaktur mesin. Kondisi kontrol tersebut yang akan *men-trigger* sistem pengamanan dan peringatan sesuai dengan kondisi operasi mesin. *Flowchart* kerja sistem *monitoring* RPM *engine* dan *temperature* minyak lubrikan kapal seperti yang ditunjukkan gambar 3.



Gambar 2. *Wiring* diagram keseluruhan sistem



Gambar 3. Flowchart kerja software monitoring RPM dan temperatur minyak lubrikan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan setelah seluruh *hardware* dan *software prototype* sistem *monitoring* selesai dibangun adalah perlu dilakukannya pengujian dengan memberikan beberapa variasi *trigger* terhadap sistem untuk memvalidasi apakah sistem dapat bekerja dan berkomunikasi dengan baik sesuai dengan perintah yang telah dikirimkan ke mikrokontroler.

3.1. Pengujian Sensor RPM dan Sistem Pengamanan (*Relay*)

Pengujian kerja sensor RPM (encoder) dilakukan saat keseluruhan sistem *monitoring* dijalankan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem merespon *trigger* apabila *input* kecepatan putaran *gear* motor DC beroperasi di atas kondisi kerja normal dengan menonaktifkan *relay* dan mengirimkan notifikasi

peringatan. Selama pengujian, motor DC 3V menunjukkan RPM yang stabil pada rentang nilai 3000-3900. Sistem *monitoring* dan *alert* juga berhasil menampilkan status motor di beberapa kondisi kontrol. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kerja sistem pengamanan dan perbandingan hasil pembacaan sensor encoder dengan alat ukur takometer.

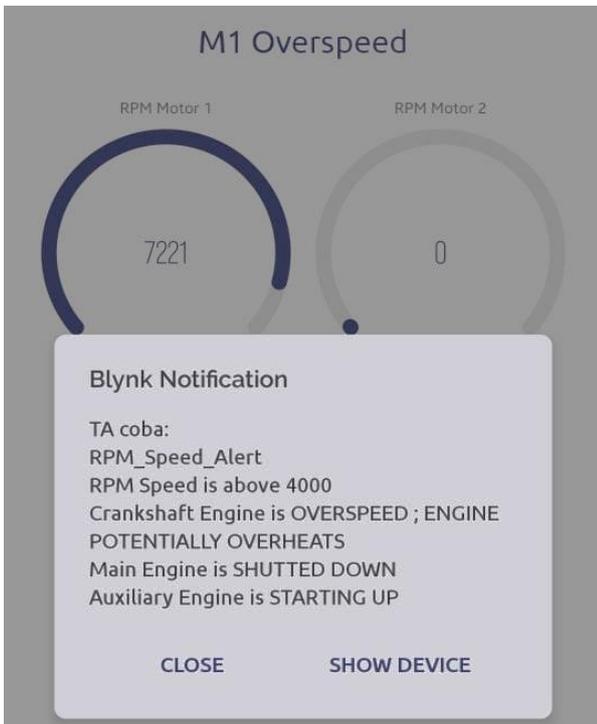
Tabel 2. Perbandingan pembacaan sensor encoder dengan takometer

Uji ke -	Pembacaan sensor encoder	Pembacaan alat ukur takometer	Alert status
1	4120	4040	Peringatan <i>overspeed</i> ; <i>relay off</i> ; motor utama mati
2	4502	4523	Peringatan <i>overspeed</i> ; <i>relay off</i> ; motor utama mati
3	3487	3522	Status motor "RPM normal"
4	3828	3852	Status motor "RPM normal"
5	3994	3980	Status motor "RPM normal"
6	3744	3627	Status motor "RPM normal"
7	3289	3339	Status motor "RPM normal"

Pantauan status kondisi kerja mesin saat beroperasi dengan RPM normal ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan Gambar 5 menunjukkan notifikasi peringatan sistem apabila mesin beroperasi di atas kondisi kerja normal.



Gambar 4. Status kondisi motor saat RPM normal



Gambar 5. Status kondisi motor saat RPM di atas kondisi normal operasi

3.2. Pengujian Sensor Suhu dan Sistem Pengamanan (*Relay*)

Pengujian kerja sensor suhu (DS18B20) dilakukan saat keseluruhan sistem *monitoring* dijalankan untuk mengetahui apakah sistem merespon *trigger* apabila *input* suhu minyak lubrikan yang berada di atas kondisi kerja normal dengan menonaktifkan *relay*. Fluktuasi suhu minyak lubrikan didapatkan dengan mencelupkan probe sensor dan *thermometer* ke wadah *stainless steel* berisi minyak yang telah dipanaskan. Hasil pengujian kerja sistem pengamanan dan perbandingan hasil pembacaan sensor DS18B20 dengan alat ukur *thermometer* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan pembacaan sensor DS18B20 dengan *thermometer*

Uji ke -	Pembacaan sensor (°C)	Pembacaan alat ukur (°C)	Alert status
1	49.75	49.8	Status motor "suhu normal"
2	54.75	53.9	Peringatan "engine panas"
3	55.25	56.1	Peringatan "engine panas"
4	58.78	57.7	Peringatan "engine panas"
5	59	59.1	Peringatan "engine panas"

Uji ke -	Pembacaan sensor (°C)	Pembacaan alat ukur (°C)	Alert status
6	63	63.6	Peringatan "engine panas"
7	66.5	66.9	Peringatan "engine panas"
8	75	75.8	<i>Relay off</i> ; motor utama mati; peringatan "overheat"

Gambar 6 menunjukkan status kondisi mesin saat beroperasi dengan suhu oli pada rentang kondisi kerja normal sesuai dengan *grade* SAE 40. Sedangkan Gambar 7 menunjukkan status kondisi mesin dan peringatan sistem saat suhu oli mengalami *overheat*.



Gambar 6. Status kondisi motor saat suhu oli normal

3.3. Analisa Kerja Sistem *Monitoring*

Analisis data hasil pengamatan bertujuan untuk mengetahui *error* yang dihasilkan dari proses pembacaan masing-masing sensor sehingga data hasil yang didapat lebih presisi. Perhitungan nilai *error* yang didapat sensor dilakukan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

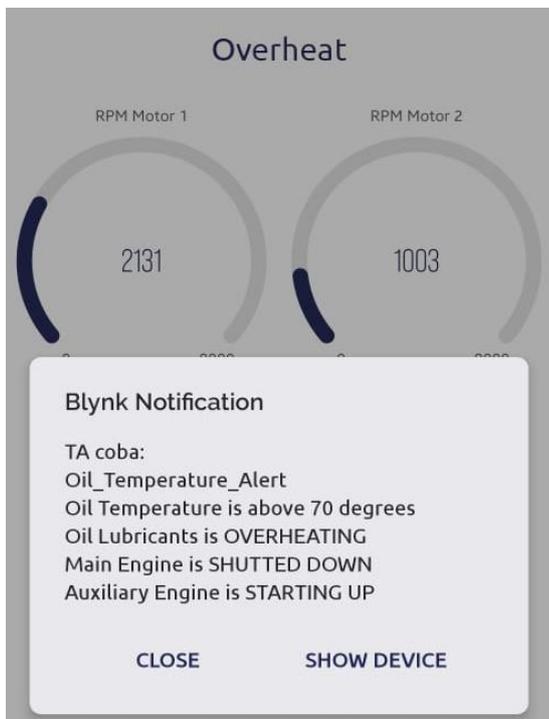
$$\%e = \left| \frac{Na - Ne}{Na} \right| \times 100 \quad (1)$$

dimana,

%e : presentase *error*

Na : nilai hasil pembacaan alat ukur

Ne : nilai hasil pembacaan sensor.



Gambar 7. Status kondisi motor saat suhu oli di atas kondisi normal operasi

Data hasil pembacaan kecepatan putar *gear* motor DC diambil dari saat mesin pertama kali beroperasi/berputar setelah saklar diaktifkan. Dimana saat sekitar 10 menit pertama, mesin beroperasi pada putaran motor yang tinggi yaitu diatas 4000 dan berangsur-angsur menjadi stabil pada RPM 3000-3900.

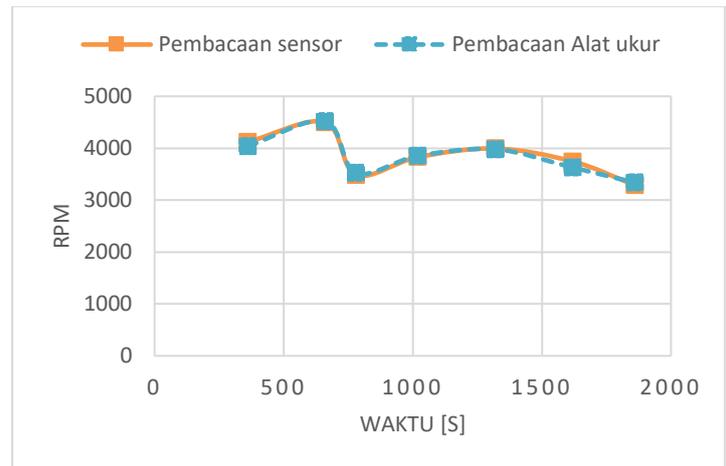
Berdasarkan hasil analisa perhitungan *error* perbandingan pembacaan data kecepatan motor dengan menggunakan sensor encoder dan alat ukur takometer mendapatkan hasil rerata sebesar 1,305%. Hasil keseluruhan perhitungan *error* kecepatan putar motor ditunjukkan pada tabel 5 berikut.

Tabel 4. Perhitungan persentase *error* pembacaan data RPM motor

Uji ke -	Jam (PM)	Time (s)	Pembacaan sensor encoder	Pembacaan alat ukur takometer	Error (%)
1	03:06	360	4120	4040	1.980
2	03:11	660	4502	4523	0.464
3	03:13	780	3487	3522	0.994
4	03:17	1020	3828	3852	0.623
5	03:22	1320	3994	3980	0.352
6	03:27	1620	3744	3627	3.226
7	03:31	1860	3289	3339	1.497
Rerata					1.305

Akurasi pembacaan sensor encoder dapat dikatakan sesuai karena meski masih terdapat *error* dengan pembacaan takometer, sensor masih dapat

membaca nilai RPM walaupun nilai perubahannya relatif kecil dan sistem pengamanan/*alert* dapat merespon *trigger* tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 8. Grafik pantauan RPM *prototype* mesin selama pengujian

Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan pembacaan data nilai RPM oleh sensor encoder IR *Speed* terhadap alat ukur takometer selama pengujian berlangsung.

Hasil analisa *error* pembacaan suhu minyak lubrikan menggunakan sensor DS18B20 dan *digital thermometer* mendapatkan hasil rerata sebesar 0,972%. Keseluruhan hasil perhitungan *error* pembacaan suhu dapat dilihat pada tabel 5.

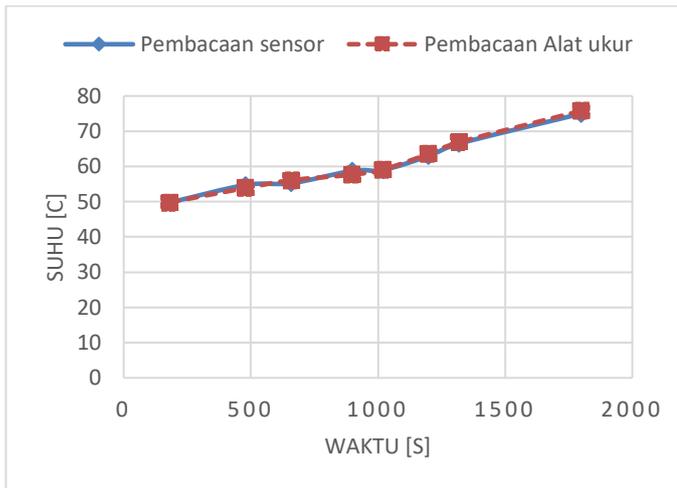
Tabel 5. Perhitungan persentase *error* pembacaan data suhu minyak lubrikan

Uji ke -	Jam (PM)	Time (s)	Pembacaan sensor (°C)	Pembacaan alat ukur (°C)	Error (%)
1	04:03	180	49.75	49.8	0.100
2	04:08	480	54.75	53.9	1.577
3	04:11	660	55.25	56.1	1.515
4	04:15	900	58.75	57.7	1.820
5	04:17	1020	59	59.1	0.169
6	04:20	1200	63	63.6	0.943
7	04:22	1320	66.5	66.9	0.598
8	04:30	1800	75	75.8	1.055
Rerata					0.972

Akurasi pembacaan sensor DS18B20 dapat dikatakan sesuai karena meski masih terdapat *error* dengan pembacaan *thermometer*, sensor masih dapat membaca nilai suhu minyak walaupun nilai perubahannya relatif kecil dan sistem pengamanan/*alert* dapat merespon *trigger* tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan pembacaan data nilai suhu minyak lubrikan oleh

sensor DS18B20 terhadap alat ukur *thermometer* selama pengujian berlangsung.



Gambar 9. Grafik pantauan suhu oli *prototype* mesin selama pengujian

3.4. Pembahasan

Perancangan *prototype* sistem digital *monitoring* data RPM mesin dan minyak lubrikan kapal berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan jaringan internet berhasil mengoperasikan sensor-sensor, modul pengaman *relay*, dan menyajikan data serta status kondisi mesin pada layar LCD I2C maupun web *dashboard*/aplikasi *Blynk* IoT secara *real-time* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 6. Prinsip kerja sistem digital *monitoring* yang telah dirancang memenuhi peraturan BKI untuk Kapal Khusus Volume 1 Panduan untuk Kapal Tak Berawak berdasarkan derajat otonom yang diterapkan pada sistem pengawas dan pengendali jarak jauh kapal.

Hasil pengujian *prototype* menunjukkan sistem dapat beroperasi dengan baik. Rerata *error* akurasi pembacaan sensor terhadap alat ukur menunjukkan hasil sebesar 1.305% untuk pembacaan data RPM menggunakan sensor encoder dan 0.972% untuk pembacaan data temperatur minyak menggunakan sensor DS18B20. Data-data hasil pembacaan sensor berhasil ditampilkan pada web *dashboard* dan aplikasi *Blynk* sesuai peraturan BKI *Section* 8.C.3 sistem dapat menampilkan informasi bagi para operator, *Section* 8.D.1.2 kapal dilengkapi dengan sensor-sensor, sistem dan perlengkapan yang menyediakan umpan balik kepada operator terkait kondisi pengoperasian dan potensi bahaya, dan *Section* 8.D.2.2.2 operator jarak jauh mendapatkan informasi ketidaknormalan, ancaman yang tidak terduga dan *error* operasi. Sistem pengamanan *relay* dan peringatan berfungsi dengan baik seperti

yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 7, yaitu akan beroperasi apabila sensor membaca nilai RPM lebih dari 4000 dan nilai temperatur minyak melebihi 70°C dengan menonaktifkan motor utama dan menghidupkan mesin bantu (*auxiliary*) sesuai dengan peraturan BKI *Section* 8.D.1.12 tersedia sistem peringatan untuk menginformasikan operator sesegera mungkin saat terjadi penyimpangan dari operasi normal, *Section* 8.D.1.13 peringatan disajikan dengan prioritas di atas informasi lain, dan *Section* 8.D.1.7 sistem kendali dapat melakukan tindakan korektif secara otomatis melalui sistem integritas tinggi apabila terjadi kerusakan pada sistem kapal untuk menempatkan kapal dalam kondisi aman guna meminimalkan risiko terhadap manusia, lingkungan, dan aset. [13].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis kerja sistem, menunjukkan bahwa mikrokontroler ESP32 dapat digunakan sebagai perangkat pemantauan data RPM mesin dan temperature minyak lubrikan secara otomatis. Sensor encoder IR *Speed* yang dihubungkan ke mikrokontroler dapat bekerja membaca kecepatan putar (RPM) mesin dan sensor DS18B20 dapat membaca perubahan suhu minyak lubrikan. Data-data hasil pembacaan tersebut ditampilkan pada layar LCD yang terintegrasi dengan sistem dan dikirimkan ke *website* atau aplikasi IoT *Blynk Cloud* menggunakan jaringan internet Wi-Fi.

Data dari pengujian sensor menunjukkan akurasi kerja sensor kecepatan RPM mendapatkan hasil rerata sebesar 1,035%. Sedangkan pembacaan sensor temperatur DS18B20 memiliki rerata nilai akurasi sebesar 0,972%. Pengamanan otomatis menggunakan modul *relay* dan sistem peringatan bekerja saat sistem pengawasan mendeteksi operasi motor pada kondisi abnormal yaitu, apabila RPM mesin yang terdeteksi melebihi 4000 dan/atau temperatur minyak lubrikan di atas 70°C. Prinsip kerja sistem *monitoring* berbasis IoT lengkap dengan sistem peringatan dan pengamanan yang telah dirancang ini sesuai dengan peraturan BKI Bagian 3 Kapal Khusus Vol. 1 Kapal Tak Berawak *Section* 8 terkait sistem pengawasan, pengamanan dan pengendalian operasi kapal dari jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Ganesan, *Internal Combustion Engines*. McGraw-Hill, 1994.
- [2] A. Deven, *Marine Diesel Engine*, First Edition. Mumbai: Shroff Publishers and Distributors Pvt. Ltd., 2004.
- [3] I. P. Mulyatno, O. Mursid, H. Yudo, and S. Nurhumairoh, "Maintenance Analysis Based on Reliability of Main Engine Lubrication System with Markov Method," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 7 (4), pp. 300-310, 2022.
- [4] Y. R. Ilmal, D. Arianto, S.J. Preston, P.Y. Endri, T. Mula, and U. M. Lazuardi, "Studi Perawatan Berbasis Risiko Sistem Pelumasan Mesin Induk KM Mabur dengan Pendekatan FMEA," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 19, no. 2, pp. 218–226, 2022.
- [5] D. Simion, F. Nicole, C. Alexandru, and C. Doru, "Naval Maintenance. From Corrective Maintenance to Condition monitoring and IoT", *Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF*, MBNA Publishing House Constanta, 2021. doi: 10.21279/2457-144X-21-021
- [6] M. Inoue and N. Uchihira, "Maritime Engine Room Resource Management Extended to Remote Members Onshore: Conceptual Model using Internet of Everything (IoE)," in *The Human Side of Service Engineering*, AHFE International, 2022. doi: 10.54941/ahfe1002549.
- [7] L. Joel, *Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance*, Second Edition. New York: Industrial Press, 2011.
- [8] G. Samuel, *The Internet of Things*. London: MIT Press, 2015.
- [9] A. F. Dakhil, W. M. Ali, and A. A. Abdulredah, "Predicting Prior Engine Failure with Classification Algorithms and web-based IoT Sensors", *Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE)*, 2020. doi: 10.1109/ETCCE51779.2020.9350895/20/\$31.00.
- [10] S.H. Ardhi and K.E. Susilo, "Monitoring Engine RPM and Lubricating Oil Temperature in IoT-Based Generators", *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10 no. 1 pp.45, January-April 2021.
- [11] C. A. Sinan, "Experimental IoT study on fault detection and preventive apparatus using Node-RED ship's main engine cooling water pump motor," *Engineering Failure Analysis*, vol. 138, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106310.
- [12] S.V. Karthik, V.Akshaya, and P. Sriramalakshmi, "IoT based predictive maintenance of electrical machines in aircraft," in *Proceedings of the 7th International Conference on Electrical Energy Systems, ICEES 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2021, pp. 569–575. doi: 10.1109/ICEES51510.2021.9383669.
- [13] Anonymous, "Guidelines For Classification And Construction Part 3 Special Ships Volume 1 GUIDELINES FOR AUTONOMOUS SHIPS 2020 Biro Klasifikasi Indonesia," 2020.