



Autonomous Fire Extinguisher On The Ship Using Raspberry Pi Pico

Salman Al Farizi^{1*}, Edi Kurniawan², Henna Nurdiansari³, Dirhamsyah⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: smas40166@gmail.com

Abstract. *Autonomous Fire Extinguisher (AFE) On The Ship* or known as an automatic fire extinguisher on a ship is a fire extinguisher without a crew in it in the form of a ship prototype. The fire extinguisher is controlled automatically using a cellphone remote control. This fire extinguisher can also extinguish fire automatically according to the fire point. The research method used is system design and development. The system is designed with an Infrared Flame Sensor, and ESP8266 Wi-Fi to deploy the ship to the position of the fire point and extinguish the fire automatically. The data obtained will be sent to the application using a Raspberry Pi Pico and hardware design to determine the system architecture, selecting appropriate components, software design to develop algorithms and programs, as well as testing and evaluation to assess overall system performance. Data collection techniques are carried out through system testing to evaluate the performance of the component system and the integration of the entire system. The test results show that the Infrared Flame Sensor can detect fire points at a distance of 40cm to 80cm and the active and focused sprayer control system can extinguish according to the accuracy of the fire point (fire) automatically. The results of this test are used to ensure that each component functions according to the specifications that have been given, develop simple tools to be more effective, efficient and improve technology.

Keywords: ESP8266 Wi-Fi, Infrared Flame Sensor, Raspberry Pi Pico.

Abstrak. *Autonomous Fire Extinguisher (AFE) On The Ship* atau yang dikenal sebagai alat pemadam kebakaran secara otomatis dikapal adalah alat pemadamkan api tanpa awak didalamnya dalam bentuk *prototype* kapal. Alat pemadam kebakaran dikendalikan secara otomatis menggunakan *remote control handphone*. Alat Pemadam kebakaran ini juga dapat memadamkan api secara otomatis dengan tepat sesuai titik api. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan dan pengembangan sistem. Sistem dirancang dengan *Infrared Flame Sensor* dan ESP8266 Wi-Fi untuk mengarahkan kapal pada posisi titik api dan memadamkan api secara otomatis. Data yang diperoleh akan dikirimkan ke aplikasi menggunakan *Raspberry Pi Pico* dan perancangan hardware untuk menentukan arsitektur sistem memilih komponen yang sesuai, perancangan software untuk mengembangkan algoritma dan program, serta pengujian dan evaluasi untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan. Teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui pengujian sistem untuk mengevaluasi kinerja sistem komponen dan integrasi keseluruhan sistem. Hasil pengujian menunjukkan *Infrared Flame Sensor* dapat mendeteksi titik api jarak 40cm sampai 80 cm dan sistem kontrol *sprayer* aktif dan fokus dapat memadamkan sesuai ketepatan titik api (kebakaran) secara otomatis. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah diberikan, mengembangkan alat sederhana menjadi lebih efektif, efisien dan meningkatkan teknologi.

Kata Kunci: ESP8266 Wi-Fi, Infrared Flame Sensor, Raspberry Pi Pico.

1. PENDAHULUAN

Dalam era kemajuan teknologi informasi dan perkembangan industri kelautan, *Autonomous Fire Extinguisher (AFE) On The Ship* atau yang dikenal sebagai alat pemadam kebakaran dikapal. Alat pemadam kebakaran ini dikendalikan dari jarak jauh tanpa awak kapal di dalamnya. Pengoperasian alat pemadam kebakaran dilakukan dengan menggunakan aplikasi kodular sebagai *remote control handphone*. Alat pemadam kebakaran ini dapat memadamkan api secara otomatis dengan tepat sesuai titik api menggunakan *water sprayer* dan 2 servo motor

untuk mengarahkan sesuai ke titik api. Maka dari itu *Autonomous* ini termasuk dalam ruang lingkup tingkat tiga (*Degree Three*).

Kebakaran dan asap menjadi salah satu bahaya utama yang mempengaruhi kehidupan sehari-hari di atas kapal yaitu contohnya sering terjadi akibat beberapa masalah seperti korsleting listrik dikarenakan kelalaian manusia dan kurangnya *maintenance* setiap komponen kelistrikan. Dengan berbagai bahaya kebakaran tersebut maka salah satu alternatif untuk membantu mengatasi kebakaran adalah menggunakan kapal pemadam kebakaran.

Pada awal bulan Mei 2024, sekitar pukul 14.47 WIB, terjadi kebakaran di Pelabuhan Perikanan Muara Baru, Kecamatan Penjaringan, Jakarta Utara. Purnajati, R. & Hamasy, A. I. A. (2024, Mei 7). Kebakaran ini melibatkan tiga kapal yakni Kapal Motor (KM) Rezika Melimpah, KM Bahari, dan KM Rezeki Malindo. Akibat kebakaran ini, tiga korban tewas. Kebakaran dipicu oleh korsleting listrik pada mesin pendingin ikan di kapal KM Rezika Melimpah, yang meledak saat proses bongkar muat ikan. Ketiga *crew* kapal tersebut meninggal, dan korban yang dievakuasi mengalami sedikit luka bakar di lengan kanan, namun sebagian tubuhnya tertimpa reruntuhan kapal, menyulitkan proses evakuasi. Kendala yang terjadi saat memadamkan api, para *crew* kapal tidak menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, tidak mengikuti aturan *Safety Of Life at Sea (SOLAS)*, Sehingga mengakibatkan kerugian bagi *crew* kapal dan perusahaan pelayaran. Untuk meningkatkan keselamatan di laut pada era saat ini sehingga membuat *prototype Autonomous Fire Extinguisher On The Ship Using Raspberry Pi Pico*. (Trisaid, 2020).

Penelitian yang berjudul “*Autonomous Fire Extinguisher On The Ship Robot with Smart Monitoring System*” menggunakan Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler dan sensor *ultrasonic* sebagai pembantu pergerakan robot untuk menghindari benturan dengan rintangan (Shuhaimi, 2021).

Alasan menggunakan alat pemadam kebakaran secara otomatis menggunakan *Raspberry Pi Pico* dipilih karena secara akurat mencerminkan fokus proyek pada pengembangan sistem pemadam kebakaran otomatis menggunakan *Raspberry Pi Pico*, yang dirancang untuk membuat alat pemadam kebakaran otomatis di kapal. Penggunaan *Raspberry Pi Pico* secara khusus menyoroti pendekatan inovatif dalam memanfaatkan kemampuan mikrokontroler ini untuk menciptakan sistem pemadaman kebakaran di kapal yang kuat dan efisien. pada penelitian sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Autonomous

Autonomous adalah sistem yang dapat beroperasi dan berfungsi secara mandiri tanpa keterlibatan manusia secara langsung (Nugroho, 2002). Konsep ini berkaitan erat dengan penggunaan kecerdasan buatan dan teknologi otonom untuk membuat sistem yang dapat mengambil keputusan, melakukan tugas, dan beradaptasi dengan lingkungan mereka tanpa intervensi manusia.

Water Fire Extinguisher

Water Fire Extinguisher adalah alat pemadam ini menggunakan air sebagai bahan pemadam (Davis, 2000). Jenis pemadam ini cocok untuk memadamkan api yang membakar kertas dan kayu dan tidak boleh digunakan pada area-area yang terdapat peralatan yang menggunakan listrik atau cairan kimia organik yang tidak larut didalam air.

Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi Pico adalah sebuah mikrokontroler *open source* yang dikembangkan oleh *Raspberry Pi Foundation* (Upton, 2023). *Pi Pico* menggunakan RP2040 sebagai mikrokontrolernya yang memiliki arsitektur Arm Cortex M0+ dengan kecepatan clock hingga 133 MHz. Board ini berjalan di tegangan 5 volt dengan output dari *micro* usb.

Sensor VL53L0X

Sensor VL53L0X adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek (Parama Diptya Widayaka, 2022). Jarak yang dapat diukur berkisar sekitar 5cm- 2m. Perangkat ini menggunakan 4 pin digital untuk mengkomunikasikan jarak yang terbaca.

Servo Motor

Servo Motor adalah perangkat mekanik atau elektromekanik yang digunakan untuk mengendalikan pergerakan presisi dalam aplikasi yang membutuhkan posisi akurat, kecepatan, atau torsi yang terkontrol (Simth, 2023). Savaresi berpendapat bahwa, Servo Motor modern sering kali dilengkapi dengan teknologi sensor terintegrasi dan kontrol yang canggih untuk memastikan responsif dan presisi yang tinggi dalam pengoperasiannya.

Baterai Lifepo4

Baterai Lifepo4 adalah jenis baterai isi ulang yang menggunakan bahan kimia tertentu untuk memberikan kepadatan energi yang tinggi, siklus hidup yang panjang dan stabilitas termal yang sangat baik (Smith, 2024). Baterai ini memiliki karakteristik yang unggul dalam hal energi yang disimpan perberatnya dibandingkan dengan baterai konvensional lainnya.

Motor DC

Motor Direct Current (DC) merupakan salah satu jenis motor listrik yang menggunakan arus searah untuk menghasilkan gerakan mekanis (Rahman, 2022). Motor ini umumnya terdiri dari bagian-bagian utama seperti belitan medan (*field winding*) dan belitan armatur (*armature winding*) yang berfungsi untuk menghasilkan gaya elektromagnetik yang mendorong rotor untuk berputar.

Switch On Off Mini

Switch On Off Mini merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengontrol aliran listrik dengan cara menghubungkan atau memutuskan sirkuit secara langsung (Smith, 2023).

Infrared Flame Sensor

Infrared Flame Sensor merupakan sensor yang mempunyai fungsi sebagai pendeteksi nyala api yang dimana api tersebut memiliki panjang gelombang antara 760nm – 1100nm (Brown, 2023). Sensor ini menggunakan *Infrared* sebagai transduser dalam mendeteksi kondisi nyala api. Suhu normal pembacaan normal sensor ini yaitu pada 25 – 85°C dengan besar sudut pembacaan pada 60.

ESP8266 Wi-Fi

ESP8266 Wi-Fi adalah mikrokontroler yang berukuran kecil, konsumsi daya yang rendah untuk aplikasi yang memerlukan konektivitas nirkabel yang handal namun hemat energi (Riyansyah, 2021).

Driver Motor L298N

Driver Motor L298N adalah komponen elektronik untuk mengendalikan kecepatan dan arah putaran motor DC (Suhendra, 2023). Cocok untuk proyek *Raspberry Pi Pico* dan dapat menangani arus tinggi.

Pompa

Suatu Pompa yang menggunakan tegangan DC, sebagai alat penyemprot tekanan air yang di gerakkan oleh mikrokontroler (Emir, 2012). Daya Pompa dapat diperoleh dari Baterai Lifepo4 yang telah disesuaikan, untuk mikrokontroler dan juga pompa yang akan digunakan.

LED

Light Emittinng Diode (LED) adalah merupakan semikonduktor yang dapat mengubah energi listrik lebih banyak menjadi cahaya, merupakan perangkat keras dan pada (solid- state component) sehingga lebih unggul dalam ketahanan (*durability*) (Suhardi, 2014).

Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni *elektromagnet (coil)* dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*) (Saleh, 2017).

Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang digunakan untuk menghasilkan bunyi atau nada tertentu ketika diberikan sinyal atau kode program yang sesuai (Kurniawan, 2019).

Buck Converter

Buck Converter merupakan salah satu jenis dari konverter DC-DC yang sering digunakan dalam aplikasi pengaturan tegangan (Senrianokxi, 2020).

Kodular

Kodular adalah suatu web aplikasi yang memungkinkan kita untuk membuat aplikasi android dengan menggunakan Blok Programming sehingga tidak perlu melakukan koding (menulis kode pemrograman).

3. METODE PENELITIAN

Pada penulisan karya ilmiah terapan ini penulis menggunakan metode *Research and Development* (R & D), dimana metode ini digunakan untuk menciptakan produk baru dan meningkat produk yang sudah ada, serta diujikan sejauh mana keefektifan produk tersebut.

Dimana pada perancangan sistem ini tergambarkan pada blok diagram, dan sistem kerja alat yang akan diujikan menggunakan pengujian statis dan pengujian dinamis.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Statis

Pengujian ESP8266 *Wi-Fi*



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 1. Pengujian *ESP8266 Wi-Fi*

Gambar 1 LED hasil yang didapat dari pengujian pada ESP8266 *Wi-Fi* terkoneksi dengan baik. ESP8266 *Wi-Fi* berhasil menyala dilihat pada indikator LED nya yang dikatakan pengujian pada komponen ini dinyatakan berfungsi dengan baik dan ESP8266 *Wi-Fi* berfungsi dengan baik dan adapun pengukuran jangkauan ESP8266 *Wi-Fi* yang dapat terdeteksi dapat dilihat pada table 4.3 pengukuran Jangkauan sinyal *Wi-Fi* dari remote (Kodular) ke kapal (ESP8266 *Wi-Fi*).

Tabel 1. Pengukuran jangkauan sinyal *Wi-Fi* dari remote (Kodular) ke kapal (ESP8266 *Wi-Fi*)

No.	Jarak	Sistem Kontrol
1.	5m	Terhubung
2.	10m	Terhubung
3.	15m	Terhubung
4.	20m	Terhubung
5.	25m	Terhubung
6.	30m	Terhubung
7.	35m	Terhubung
8.	40m	Terhubung
9.	45m	Terhubung
10.	50m	Terhubung
11.	55m	Terhubung
12.	60m	Terhubung
13.	65m	Terhubung
14.	70m	Terhubung
15.	75m	Terhubung
16.	80m	Terhubung
17.	85m	Terhubung

No.	Jarak	Sistem Kontrol
18.	90m	Terhubung
19.	95m	Terhubung
20.	100m	Terhubung
21.	105m	Tidak terhubung
22.	110m	Tidak terhubung
23.	115m	Tidak terhubung
24.	120m	Tidak terhubung
25.	125m	Tidak terhubung

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Pada tabel 1 hasil pengujian jangkauan sinyal *Wi-Fi* dari *remote* (Kodular) ke kapal (ESP8266 *Wi-Fi*) pada jarak yang sudah ditentukan oleh peneliti, menunjukkan bahwa sinyal *Wi-Fi* yang digunakan untuk pengoperasian kapal pada jarak 5m hingga 100m sinyal *Wi-Fi* terhubung secara stabil, dapat mengendalikan kapal dengan baik dan ditampilkan pada kodular yang diterima berhasil dengan normal dan jelas. Selama internet jaringan baik sehingga pengoperasian kapal berkerja dengan baik sesuai fungsinya. Sedangkan pada jarak 105m hingga 125m tidak terhubung dikarenakan jangkauan terbatas dan sinyal tidak terdeteksi lagi.

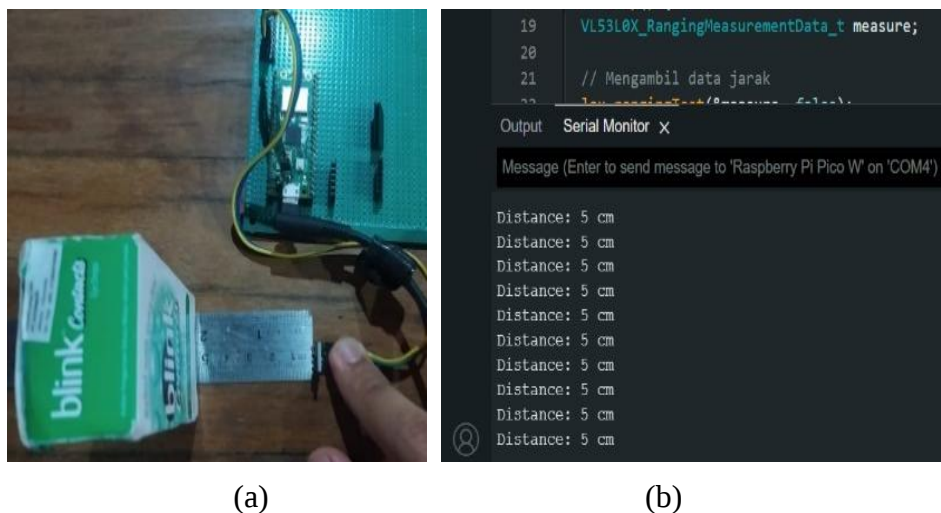
Tabel 2. Pengujian jangkauan ESP8266 *Wi-Fi* obstacle

No.	Jarak	Sistem Kontrol
1.	5m	Terhubung
2.	10m	Terhubung
3.	15m	Terhubung
4.	20m	Terhubung
5.	25m	Terhubung
6.	30m	Terhubung
7.	35m	Terhubung
8.	40m	Terhubung
9.	45m	Terhubung
10.	50m	Terhubung
11.	55m	Terhubung
12.	60m	Terhubung
13.	65m	Terhubung
14.	70m	Terhubung
15.	75m	Terhubung
16.	80m	Terhubung
17.	85m	Terhubung
18.	90m	Terhubung
19.	95m	Terhubung
20.	100m	Terhubung
21.	105m	Tidak Terhubung
22.	110m	Tidak Terhubung
23.	115m	Tidak Terhubung
24.	120m	Tidak Terhubung
25.	125m	Tidak Terhubung

Sumber: Dokumen Pribadi(2024)

Berdasarkan hasil pengujian jangkauan ESP8266 *Wi-Fi obstacle* pada tiap jaraknya telah diteliti, hal ini dapat diperhatikan pada tabel 4.2 bahwa jangkauan antara *Wi-Fi* dengan penghalang tembok atau obstacle sinyal *Wi-Fi* bisa menjangkau sinyal atau terhubung dari jarak 5m hingga 100m sinyal *Wi-Fi* yang stabil, dapat mengendalikan kapal dengan baik dan ditampilkan pada kodular yang diterima berhasil dengan normal dan jelas jarak 100m, Selama internet jaringan baik sehingga pengoperasian kapal berkerja dengan baik sesuai fungsinya. Sedangkan pada jarak 105m hingga 125m tidak terhubung dikarenakan jangkauan terbatas dan sinyal tidak terdeteksi lagi. Pengoperasian kapal menggunakan *myorbit* dilakukan dengan memanfaatkan sinyal *Wi-Fi* yang termasuk dalam jaringan intranet. Dengan menggunakan *myorbit* mengoptimalkan selama mengoperasian kapal dan pemantauan dapat dilakukan secara efisien.

Pengujian Sensor VL53L0X



(a)

(b)

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 2. Pengujian sensor *VL53L0X* (a). Pengukuran menggunakan penggaris dan (b). *Serial Monitor Distance*.

Gambar 2 hasil yang didapat dari pengujian pada Sensor VL53L0X menunjukkan pembacaan yang cukup akurat dengan nilai *distance* 5 cm dari jarak sebenarnya pada serial monitor dan Sensor VL53L0X berfungsi dengan baik dan adapun pengukuran jarak objek didepannya dengan Sensor VL53L0X yang dapat terdeteksi dapat dilihat pada table 3.

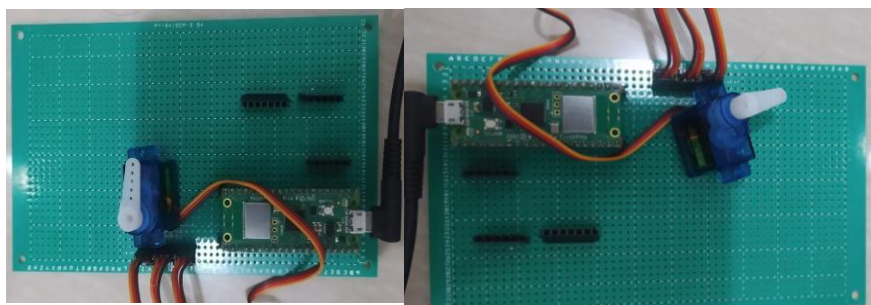
Tabel 3. Pengukuran jarak Sensor VL53L0X

Sensor VL053X	
Jarak (cm)	Hasil
1	✖
2	✖
3	✖
4	✖
5	✓
10	✓
15	✓
20	✓
25	✓
30	✓
35	✓
40	✓
45	✓
50	✖
55	✖
60	✖
65	✖

Sumber: Dokumen pribadi (2024)

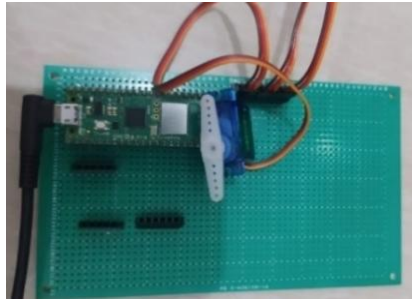
Pada gambar 2 hasil pengukuran jarak objek didepannya dengan Sensor VL53L0X tanda ✓ menunjukkan bahwa yang dapat terdeteksi dari jarak 5,10,15,20,25,30,35,40 dan 45 cm yang telah diukur menggunakan penggaris dan jarak 46-65 cm Sensor VL53L0X tanda ✖ menunjukkan bahwa tidak dapat mendeteksi jarak objek didepannya.

Pengujian Servo Motor

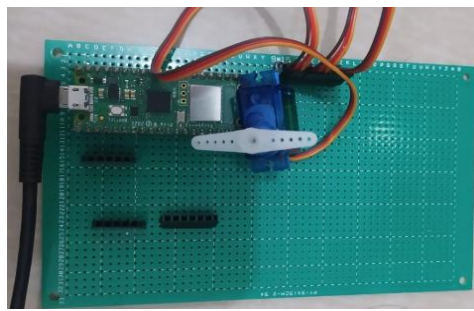


(a)

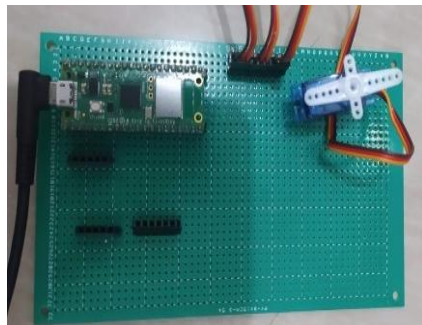
(b)



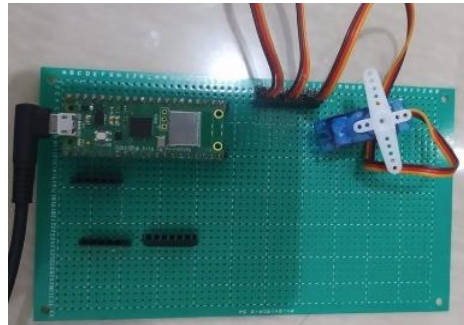
(c)



(d)



(e)



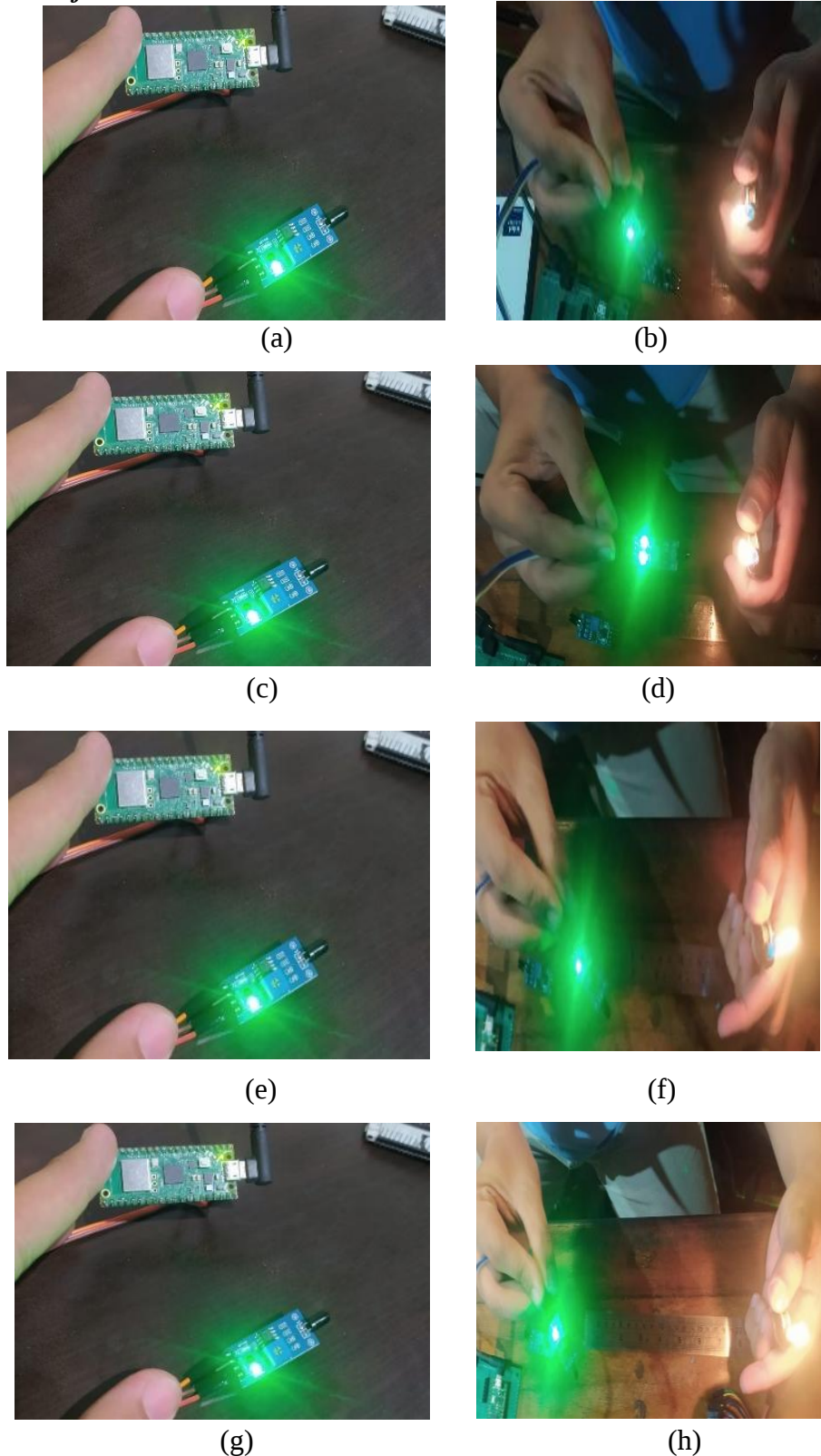
(f)

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 3. Pengujian (a). Servo Motor 1 pada sudut 0°, (b). Servo Motor 1 pada sudut 90°, (c). Servo Motor 2 pada sudut 0°, (d). Servo Motor 2 pada sudut 90°, (e). Servo Motor 3 pada sudut 0°, (f) Servo Motor 3 pada sudut 45°.

Pada gambar 3 hasil yang dapat didapat dari pengujian pada Servo Motor 1,2 dan 3 menunjukkan bahwa Servo Motor dapat bergerak dengan baik ke sudut-sudut yang ditentukan dalam program (0°,90°,180°) dan kembali ke posisi awal dengan tepat. Servo Motor mencapai posisi yang diinginkan tanpa tanda-tanda kegagalan atau kesalahan posisi. Servo Motor juga menunjukkan respons cepat sesuai dengan perintah dari sistem kontrol (aplikasi Kodular).

Pengujian *Infrared Flame Sensor*



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 4. Pengujian (a). IFS 1 tidak terdeteksi api (b). IFS 1 terdeteksi api (c). IFS 2 tidak terdeteksi api (d). IFS 2 terdeteksi api (e). IFS 3 tidak terdeteksi api (f). IFS 3 terdeteksi api (g). IFS 4 tidak terdeteksi api (h). IFS 4 terdeteksi api.

Hasil yang dapat didapat dari pengujian pada *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 menunjukkan bahwa *Infrared Flame Sensor* mendeteksi api dengan baik pada jarak dekat 5cm pada jarak yang dari lebih jauh 45cm. Dari hasil pengujian tersebut dapat didapat diamati pada gambar 4 dan dipastikan *Infrared Flame Sensor* bisa digunakan sesuai fungsinya mendeteksi titik api, menunjukkan respon aktif ketika menangkap nyala api (korek api menyala) dan adapun pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* yang dapat terdeteksi titik api menggunakan penggaris dapat dilihat pada table 4.4 dan table 4.5.

Tabel 4. Pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api dari sudut 0°.

Sensor Flame (Sudut 0)	Jarak (cm)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Tabel 4. Pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api dari sudut 30°

Sensor Flame (Sudut 30)	Jarak (cm)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
2	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
4	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Tabel 5. Pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api pada waktu pagi, siang, sore dan malam hari.

No	Pukul	Buzzer & LED 2	Water Sprayer	Api	Infrared Flame Sensor	Keterangan
1.	06.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
2.	07.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
3.	08.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
4.	09.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
5.	10.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
6.	11.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
7.	12.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
9.	12.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
10.	13.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
11.	14.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
12.	15.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari
13.	16.00	✗	✗	✗	Aktif	Cahaya Matahari

No	Pukul	Buzzer & LED 2	Water Sprayer	Api	Infrared Flame Sensor	Keterangan
14.	17.00	✖	✖	✖	Aktif	Cahaya Matahari
15.	18.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
17.	19.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
18.	20.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
19.	21.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
20.	22.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
21.	23.00	✓	✓	✓	Aktif	Api
22.	24.00	✓	✓	✓	Aktif	Api

Sumber: Dokumen Pribadi(2024)

Pada tabel 4 hasil pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api dari sudut 0° dengan diberikan tanda ✓ menunjukkan bahwa *Infrared Flame Sensor* yang dapat terdeteksi titik api, tanda ✖ menunjukkan bahwa *Infrared Flame Sensor* tidak dapat mendeteksi titik api dan tanda Aktif menunjukkan bahwa *Infrared Flame Sensor* berfungsi dengan baik dalam mendeteksi. *Infrared Flame Sensor* 1 dari sudut 0° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm sampai 40 cm. *Infrared Flame Sensor* 2 dari sudut 0° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm sampai 45 cm. *Infrared Flame Sensor* 3 dari sudut 0° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm sampai 40 cm. *Infrared Flame Sensor* 4 dari sudut 0° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm sampai 40 cm. Pada tabel 5 hasil pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api dari sudut 30. *Infrared Flame Sensor* 1 dari sudut 30° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm. *Infrared Flame Sensor* 2 dan 3 dari sudut 30° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm sampai 15cm dan *Infrared Flame Sensor* 4 dari sudut 30° dapat mendeteksi dengan jarak 5cm. Pada tabel 6 Hasil pengukuran jarak *Infrared Flame Sensor* 1,2,3 dan 4 yang terdeteksi api pada waktu pagi, siang, sore dan malam hari. *Pengujian Infrared Flame Sensor* Pada pukul 18.00 ketika tenggelam matahari sampai 24.00 malam hari buzzer dan LED merah aktif bahwa *Infrared Flame Sensor* mendeteksi titik api dengan baik sedangkan pengujian pukul 06.00 pagi terbitnya matahari sampai 17.00 buzzer dan LED merah aktif dikarenakan semua *Infrared Flame Sensor* mendeteksi cahaya matahari sehingga memberi dampak error atau salah deteksi pada sistem yang seharusnya menangkap nyalanya api.

Pengujian *Raspberry Pi Pico*



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 4. Pengujian *Raspberry Pi Pico*

Hasil yang dapat didapat dari pengujian *Raspberry Pi Pico* berhasil dan berfungsi dengan baik dilihat pada gambar 5 indikator LED sudah terkoneksi dengan *Raspberry Pi Pico* LED menyala terkoneksi dengan *Raspeery Pi Pico*. *Raspberry Pi Pico* aktif (berfungsi) dikoneksikan dengan komponen lainnya, seperti *Infrared Flame Sensor* dan sensor VL53L0X sesuai yang diprogram dan perintah yang terkoneksi dengan *Raspberry Pi Pico*.

Pengujian *Buck Converter*



(a)



(b)

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 5. Pengujian (a). Tegangan *Input Buck Converter* dan (b).Tegangan *Output Buck Converter*.

Pada gambar 6 Hasil pengujian *Buck Converter* yang didapat dari pengujian *Buck Converter* tegangan *output* 5,16 volt sesuai dengan hasil yang diharapkan, menunjukkan bahwa *Buck Converter* berkerja dengan baik dalam menurunkan tegangan *input* dari 11,51 volt menjadi tegangan *outputnya* 5,16 volt. *Buck Converter* beroperasi dengan efisiensi yang cukup

tinggi, dan *Buck Converter* berhasil menurunkan sesuai dengan dengan spesifikasi yang diinginkan dan berfungsi dengan baik.

Pengujian Baterai Lifepo4



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 6. Pengujian Baterai Lifepo4

Pada gambar 7 Hasil pengujian Baterai Lifepo4 yang dapat didapat dari pengujian Baterai Lifepo4 volt yang diukur menggunakan multitester menunjukan Baterai kondisi baik dengan nilai 12.4 volt. Baterai Lifepo4 yang telah diisi penuh (*charger*) dengan tegangan 12.8 volt dan kondisi baterai habis atau lemah turun hingga nilai tegangan 10 volt untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan mengoptimalkan selama pengopasian kapal. Pengujian ketahanan Baterai Lifepo4 dilakukan dengan cara mengoperasikan secara manuver dan pengoperasian secara keseluruhan (manuver dan pemadaman) hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 6. Hasil rata-rata pengujian ketahanan Baterai Lifepo4.

No	Tanggal	Kondisi	Waktu
1.	08/01/2025	Manuver	4 Jam
2.	13/01/2025	Manuver dan Pemadaman	1 Jam

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Pengujian *Buzzer*

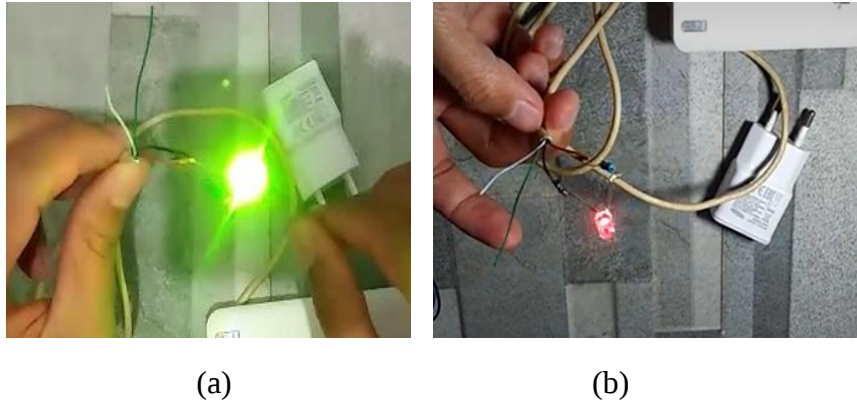


Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 7. Pengujian Buzzer

Pada gambar 8 Hasil pengujian *Buzzer* dapat dilihat bahwa *Buzzer* berhasil aktif mengeluarkan suara *Buzzer* dan *Raspberry Pi Pico* telah terhubung dengan benar, dan program berfungsi sesuai yang diperintah.

Pengujian LED

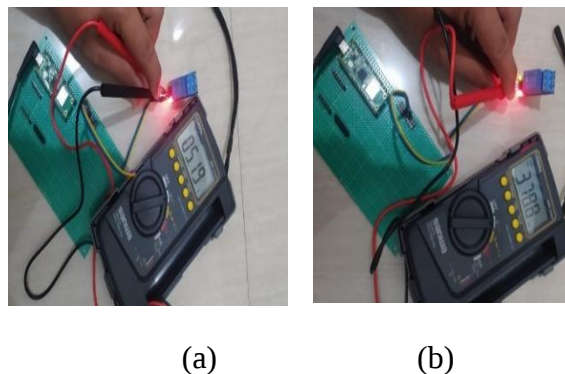


Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 8. Pengujian (a). LED 1 berwarna hijau menyala dan (b). LED 2 berwarna merah menyala.

Pada gambar 9 LED 1 dan 2 berhasil menyala menunjukkan kedua LED menerima arus yang diperlukan, semua sambungan aman dan berfungsi dengan baik sehingga lampu menyala.

Pengujian *Relay 5 volt DC*

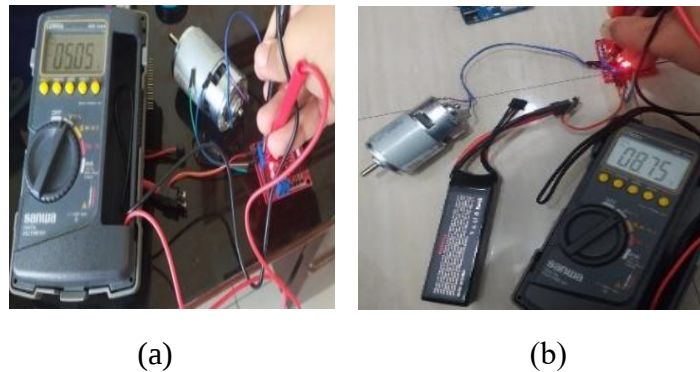


Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 9. Pengujian (a). Tegangan *Input Relay 5 volt DC* dan (b). Tegangan *Output Relay 5 volt DC*

Pada gambar 10 hasil yang dapat didapat dari pengujian *Relay 5 volt* DC menunjukkan bahwa *Relay* berfungsi dengan baik ketika dikendalikan oleh *Raspberry Pi Pico*. *Relay* dapat diaktifkan dan dinonaktifkan sesuai dengan perintah yang diberikan dari program, *Relay* yang diukur menggunakan multimeter menunjukkan tegangan *input* bernilai 5,1 *volt* dan tegangan *output* bernilai 3,7 *volt* dan perangkat uji LED menyala dan padam dengan konsisten sesuai perubahan status *Relay*. Tidak ada tanda-tanda malfungsi atau penundaaan dalam respon *Relay*.

Pengujian *Driver Motor L298N*



(b) Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 10. Pengujian (a). Tegangan *Input Driver Motor L298N* dan (b) Tegangan *Output Driver Motor L298N*

Pada gambar 11 hasil yang dapat didapat dari pengujian *Driver Motor L298N* menunjukkan bahwa indikator LED berwarna merah menyala sebagai tanda bahwa *Driver Motor L298N* dapat berfungsi dengan baik dan *Driver Motor* yang diukur menggunakan multimeter menunjukkan tegangan *input* bernilai 05.05 *volt* dan tegangan *output* bernilai 08.75 *volt* *Driver Motor L298N* dapat berkerja dengan stabil dan dan adapun pengukuran *Driver Motor* menggunakan beban listrik (tegangan) dapat dilihat pada table 4.8.

Tabel 7. Pengukuran *Driver motor* menggunakan beban listrik (tegangan)

<i>Driver Motor</i>	
<i>Input (volt)</i>	<i>Output (volt)</i>
5	3,5
6	4,5
7	6,8
8	7,5
9	8,5
10	9,2
11	10,8
12	11,6
13	12

Driver Motor	
Input (volt)	Output (volt)
14	14
15	15

Sumber: Dokumen pribadi (2024)

Pengujian Motor DC



(a)



(b)

(b) Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 11. Pengujian (a). Tegangan Input Motor DC dan (b). Tegangan Output Motor DC.

Pada gambar 12 hasil yang dapat didapat dari pengujian Motor DC yang diukur menggunakan multimeter menunjukkan tegangan *input* bernilai 11.56 volt dan tegangan *output* bernilai 10.88 volt Motor DC dalam kondisi Motor bisa berputar dengan baik.

Pengujian Pompa



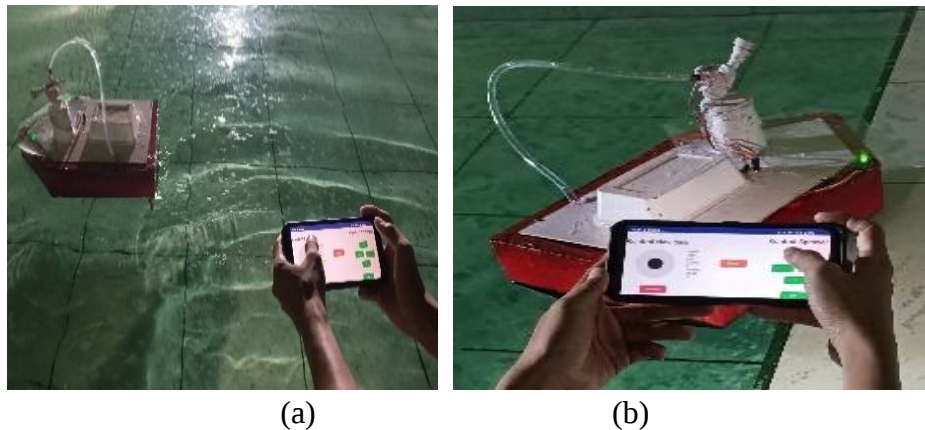
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 12. Pengujian Pompa

Pada gambar 13 hasil yang didapat dari pengujian pompa dapat berkerja dengan baik tanpa adanya kebocoran pada komponen. Pompa dapat bisa dikontrol dengan mode manual dan auto yang dengan aplikasi kodular. Pompa aktif digunakan untuk penanganan kebakaran ditengah laut.

Kodular Sistem Kontrol Jarak Jauh

Pengujian Kodular Sistem Kontrol Jarak Jauh, pengujian dilakukan dengan cara mengkoneksikan *ESP8266 Wi-Fi dengan Wi-Fi di handphone* dengan mengoperasikan pergerakan kapal dan mengendalikan posisi penyemprotan agar sesuai titik api kebakarannya secara manual dan auto dengan menggunakan aplikasi kodular. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 14.

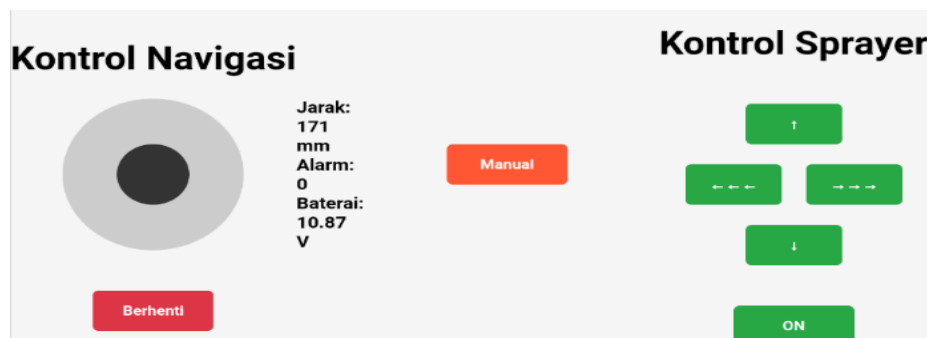


Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 13. Pengujian (a). Sistem Kontrol Navigasi (b). Sistem Kontrol *Sprayer*

Pada gambar 14 hasil yang didapat dari pengujian sistem kontrol kapal dapat bergerak dengan baik sesuai perintah dari aplikasi kodular. Sistem kontrol berfungsi untuk mengontrol pengoperasian kapal terdiri dari sistem navigasi kapal digunakan untuk menjalankan kapal maju mundur, menghalangi rintangan baik itu rintangan, tembok atau objek kapal didepannya dan sistem *water sprayer* digunakan untuk memadamkan titik api dengan jarak jauh yang dikontrol menggunakan aplikasi kodular.

Kodular Sistem Monitoring



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 14. Pengujian Sistem Monitoring

Pada gambar 15 hasil yang didapat dari pengujian sistem kontrol kapal dapat bergerak dengan baik sesuai perintah dari aplikasi kodular. Sistem monitoring berfungsi untuk mengetahui jarak yang ditempuh oleh kapal, indicator alarm apabila terdeteksi titik api dan kondisi baterai akan dimonitoring dari jarak jauh dari aplikasi kodular dihandphone.

Pengujian Dinamis



Sumber: Dokumen pribadi (2024)

Gambar 15. Kapal *Protitipe Autonomous Fire Extinguisher On The Ship Using Raspberry Pi Pico*

Pengujian dinamis dilakukan untuk memastikan hasil kinerja ada setiap sistem secara keseluruhan, tetapi dengan pengujian tetap difokuskan pengoperasian kapal mode manual dan otomatis dengan aplikasi kodular . Pengujian ini memastikan bahwa seluruh sistem dapat berkerja secara selaras dan efektif serta terhindar dari potensi kegagalan atau masalah antar komponen sehingga dapat meningkatkan ke efisiensi sistem pemadaman api pada alat ini.

Pengujian Pengoperasian Kapal Mode Manual

Sistem Kontrol Navigasi Kapal Mode Manual



Sumber: Dokumen Pribadi(2024)

Gambar 16. Sistem Kontrol Navigasi Kapal Mode Manual

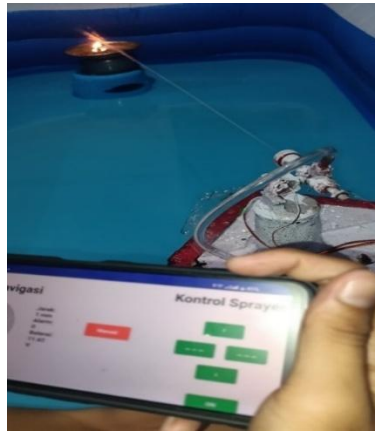
Tabel 8. Hasil rata-rata pengujian sistem kontrol navigasi kapal mode manual

No	Gerakan	Waktu (detik)	Kontrol Navigasi
1.	Maju	2	Aktif
2.	Mundur	2	Aktif
3.	Belok Kanan	6	Aktif
4	Belok kiri	7	Aktif

Sumber: Dokumen Pribadi(2024)

Pada tabel 9 di atas, hasil rata-rata pengujian sistem kontrol navigasi mode manual pada tiap waktu yang telah diteliti menunjukkan berhasil jangkauan *Wi-Fi* mampu mengirimkan data pada remote kontrol diaplikasi kodular secara stabil sehingga kapal bisa berkerja dengan baik. Dalam pengujian menunjukkan bahwa manuver maju dan mundur yaitu 2 detik sedangkan manuver belok kanan yaitu 6 detik dan belok kiri yaitu 7 detik dikarenakan membutuhkan awalan bergerak maju agar bisa manuver belok kanan atau kiri dengan baik. Hasil pengujian manuver menunjukkan bahwa kinerja yang tidak maksimal dikarenakan stabilitas yang kurang baik yang disebabkan oleh kelebihan beban.

Sistem Kontrol *Sprayer* Mode Manual



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 17. Sistem Kontrol *Sprayer* Mode Manual

Tabel 9. Hasil rata-rata pengujian sistem kontrol *sprayer* mode manual.

No	Gerakan stik <i>sprayer</i>	Waktu (detik)	Kontrol <i>Sprayer</i>
1.	Ke atas	1	Aktif
2.	Ke bawah	1	Aktif
3.	Ke kanan	1	Aktif
4.	Ke Kiri	1	Aktif
5.	Penyemprotan Aktif	1	Aktif

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Pada tabel 10 di atas, hasil rata-rata pengujian sistem kontrol *sprayer* mode manual menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan cepat dengan waktu respon yang telah diuji yaitu 1 detik untuk semua gerakan stik *sprayer* yang ditentukan oleh peneliti. Dalam pengujian pemadamankan api ketepatan penyemprotan kurang maksimal disebabkan oleh sisa putaran propeller menimbulkan gelombang ombak sehingga untuk memadamkan titik api tidak efisien. Pompa berhasil berkerja dengan baik memberikan tekanan yang cukup untuk menyembrotkan udara secara merata, stabil selama proses penyemprotan dan respon pergerakan sistem kontrol *sprayer* yang cukup baik.

Pengujian Pengoperasian Kapal Mode Auto



Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 18. Pengoperasian kapal mode *auto*

Tabel 10. Hasil rata-rata pengujian pengoperasian kapal mode *auto*

No	Jarak (cm)	Infrared Flame Sensor	Kontrol <i>Sprayer</i>	Api Hidup/Mati	Keterangan
1.	5	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
2.	10	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
3.	15	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
4.	20	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
5.	25	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
6.	30	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
7.	35	Terdeteksi	Aktif	Hidup	Penyemprotan tidak fokus pada titik api
8.	40	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
9.	45	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
10.	50	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
11.	55	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
12.	60	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
13.	65	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
14.	70	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
15.	75	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
16.	80	Terdeteksi	Aktif	Mati	Penyemprotan fokus pada titik api
17.	85	Tidak Terdeteksi	Tidak Aktif	Hidup	Tidak terjadi penyemprotan
18.	90	Tidak Terdeteksi	Tidak Aktif	Hidup	Tidak terjadi penyemprotan
19.	95	Tidak Terdeteksi	Tidak Aktif	Hidup	Tidak terjadi penyemprotan
20.	100	Tidak Terdeteksi	Tidak Aktif	Hidup	Tidak terjadi penyemprotan

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Pada tabel 11 di atas, pengujian pengeporasian kapal dalam mode *auto* berhasil. Untuk manuver dengan dukungan sistem kontrol navigasi kapal dalam mode manual untuk mencari keberadaan titik api (kebakaran). *Infrared Flame Sensor* mampu mendeteksi titik api dan

sistem kontrol *sprayer* aktif pada jarak 5cm sampai 80cm tetapi penyemprotan fokus dan tepat pada titik api posisi jarak 40cm sampai 80cm sehingga api bisa dipadamkan sedangkan jarak 5 sampai 35 untuk penyemprotan tidak fokus pada titik api dikarenakan untuk menjaga jaga keselamatan kapal dari titik api (kebakaran). Pada Jarak 85cm sampai 100cm *Infrared Flame Sensor* tidak mampu mendeteksi titik api dan kontrol *sprayer* tidak aktif sehingga mengakibatkan tidak terjadi penyemprotan.

Analisa Data

Analisa hasil pengujian pengoperasian kapal mode manual

- a. Tabel 9 Mengenai pengujian sistem kontrol navigasi mode manual

Analisa ini melibatkan perhitungan waktu kecepatan respon alat pada sistem kontrol navigasi mode manual menggunakan aplikasi kodular yang dikoneksikan dengan sinyal *Wi-Fi* yang selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat keberhasilan alat untuk evaluasi efektivitas dan manuver secara konstan dan stabil .

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali percobaan yang ditentukan dengan 5 kali sesuai dan 0 tidak sesuai. Dimana tingkat presentase keberhasilan hasil pengujian mencapai 100%.

Persentase tingkat keberhasilan

$$= \frac{(5 \text{ kali pengujian} - 0 \text{ kegagalan})}{5 \text{ kali pengujian}} : \times 100$$

$$= 100\%$$

- b. Tabel 10 Mengenai pengujian sistem kontrol sprayer mode manual.

Hasil analisa ini melibatkan perhitungan waktu kecepatan respon alat pada sistem kontrol *sprayer* mode manual pompa bisa di on offkan dengan menggunakan aplikasi kodular. Sudut penyemprotan air sangat panjang dan respon *remote* kontrol selama pengujian memberikan yang stabil. Pengujian telah dilakukan sebanyak 5 kali percobaan yang sudah ditentukan dengan 5 kali sesuai dan 0 tidak sesuai. Dimana tingkat presentase keberhasilan hasil pengujian mencapai 100%.

Persentase tingkat keberhasilan

$$= \frac{(5 \text{ kali pengujian} - 0 \text{ kegagalan})}{5 \text{ kali pengujian}} : \times 100$$

$$= 100\%$$

Analisa hasil pengujian pengoperasian kapal mode *auto*

Hasil analisa pengujian sistem kontrol *sprayer* menggunakan mode *auto* pada *Infrared Flame Sensor* mampu mendeteksi titik api dan sistem kontrol *sprayer* aktif pada jarak 5cm sampai 80cm tetapi penyemprotan fokus dan tepat pada titik posisi jarak 45cm sampai 80cm api bisa dipadamkan sedangkan jarak 5cm sampai 35 cm untuk penyemprotan tidak fokus pada titik api dikarenakan untuk menjaga keselamatan kapal dari titik api (kebakaran). Pada jarak 85cm sampai 100cm *Infrared Flame Sensor* tidak mampu mendeteksi titik api dan kontrol *sprayer* tidak aktif sehingga mengakibatkan tidak terjadi penyemprotan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sesuai dengan rencana sebelumnya untuk menjawab rumusan masalah, pengujian dilakukan dengan menggunakan metode statis dan dinamis. Setelah dilakukan perakitan *Autonomous Fire Extinguisher On The Ship Using Raspberry Pi Pico*, dapat disimpulkan bahwa alat ini berhasil dirancang dengan komponen-komponen yang telah diuji secara menyeluruh. Alat ini berfungsi untuk memadamkan api secara otomatis dengan sistem navigasi dan sistem kontrol yang dapat dioperasikan melalui dua mode, yaitu mode manual dan auto, menggunakan remote kontrol berbasis aplikasi Kodular di ponsel pintar. Alat ini dapat dikendalikan dari jarak jauh tanpa awak kapal, berguna untuk menjaga keselamatan kapal di tengah laut, serta merupakan pengembangan alat sederhana menjadi lebih efektif dan berteknologi. Komponen utama penyusun alat ini meliputi Raspberry Pi Pico, sensor VL53L0X, tiga buah servo motor, ESP8266 Wi-Fi, empat sensor api inframerah, driver motor L298N, relay 5V, motor DC, baterai Lifepo4, *buck converter*, dua lampu LED merah dan hijau, buzzer, serta pompa 12 volt. Cara kerja alat dimulai dengan mengaktifkan *switch on-off mini* untuk menghubungkan ESP8266 dengan jaringan Wi-Fi dari ponsel yang akan digunakan untuk mengontrol navigasi kapal dan sistem penyemprotan. Setelah terhubung, kapal siap dioperasikan dengan baterai Lifepo4 sebagai sumber daya dan *buck converter* sebagai pengatur tegangan. Sistem navigasi menggerakkan kapal maju, mundur, belok kanan dan kiri dengan motor DC dan servo motor yang membantu mengurangi risiko kecelakaan. Mode manual terbukti lebih efektif dalam mendeteksi dan memadamkan api secara akurat, sementara mode auto kurang optimal pada saat manuver karena kendala penghindaran objek. Sensor api inframerah mampu mendeteksi titik api dan mengaktifkan *sprayer* pada jarak 40–80 cm dengan penyemprotan yang fokus dan tepat sasaran.

Pengujian alat dilakukan dalam kolam renang tertutup dengan dua mode operasi, yaitu manual dan auto. Mode manual diuji sebanyak lima kali menunjukkan respons sistem kontrol

yang aktif dan tepat sesuai perintah aplikasi, dengan tingkat keberhasilan 100%. Sementara itu, mode auto juga diuji lima kali dan memberikan hasil yang baik dengan bantuan mode manual untuk manuver dan menghindari objek, serta sprayer yang dapat bekerja dengan baik mendeteksi dan memadamkan api dalam jarak optimal. Namun, alat belum diujikan di kolam renang terbuka karena keterbatasan sensor inframerah yang terganggu oleh cahaya matahari dan hanya berfungsi optimal di malam hari.

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) disarankan untuk menambah satu propeler pada sistem navigasi guna menunjang keseimbangan kapal saat berjalan dan berhenti agar pergerakan tetap stabil; (2) penambahan sistem monitoring jarak jauh seperti kamera akan sangat membantu dalam pemantauan visual secara real-time saat terjadi kebakaran, sehingga keselamatan kapal lebih terjamin; dan (3) penambahan dua stik sprayer untuk mempercepat dan mempermudah proses pemadaman api besar agar lebih efektif dan efisien. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi evaluasi dan acuan untuk pengembangan lebih lanjut dalam menciptakan sistem pemadam api otomatis yang lebih canggih dan andal.

REFERENSI

- Azzahra, M., & Meisyaroh, I. F. (2023). Implementasi osiloskop digital menggunakan Raspberry Pi Pico W berbasis OS Android. *Konferensi Nasional Social dan Engineering Politeknik Negeri Medan*.
- Brown, E. (2023). Principles of flame detection using infrared sensors. *IEEE Transactions on Sensors*, 15(3), 123–135.
- El-Khaq, M. D. (2024). Rancang bangun double hull unmanned surface vehicle dengan pengiriman data melalui LoRa. *Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya*.
- Emir, N. (2012). Rancang bangun sistem penyiraman tanaman secara otomatis menggunakan sensor suhu LM35 berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535. *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung*.
- Hanum, A., & Atiikah, A. H. (2023). Kecelakaan kapal yang mengakibatkan meninggalnya penumpang menurut perspektif Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran (Kasus SB Evelyn 01 Pulau Guntung). *Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora*, 1117–118.
- Jati, R. P., & Aulia, I. (2024, Mei 1). Kebakaran kapal di Pelabuhan Muara Baru menewaskan tiga orang.
- Kurniawan, D., & Ginting, S. (2022). Pengembangan prototipe kapal tanpa awak. *KARMAPATI*, 173.

- Rahman. (2022). Pemodelan penggerak palang pintu perlintasan kereta api dengan memanfaatkan pengereman plugging. *JREEC: Teknik Elektro*, 2(2), 1–6.
- Riyansyah, R. G. (2021). Smart monitoring alat infus pasien berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP8266. *Scientific Student Journal for Information, Technology and Science*.
- Saleh, M. (2017). Rancang bangun sistem keamanan rumah menggunakan relay. *Jurnal Teknologi Elektro*.
- Senrianokxi, F. (2020). Rancang bangun modul converter DC-DC menggunakan mikrokontroler Arduino berbasis IoT untuk penelitian MPPT (Maximum Power Point Tracking) pada panel surya. *Jurusan Elektro S1 ITN Malang*.
- Simth, J. (2023). Advancements in servo motor technology. *Journal of Automation Engineering*, 15(2), 45–58.
- Siregar, A., & Ginting, T. (2024). Desain sistem kelistrikan pada unmanned surface vehicle. *Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya*.
- Smith, J. (2023). [Judul artikel tidak tersedia]. *International Journal of Electronics and Communications*, 45(2), 67–82.
- Suhardi, D. (2014). Prototipe controller lampu penerangan LED (Light Emitting Diode) independent bertenaga surya. *Jurnal Gamma*, 10(1).
- Suhendra, Y. G. (2023). *Prinsip dan aplikasi sistem kontrol motor*. Jakarta: Erlangga.
- Suli, K. T. N. (2023). Rancang bangun sistem informasi desa berbasis website (studi kasus Desa Walenrang). *Ilmiah Information Technology d'Computare*, 13(1).
- Upton, E., & Halfacree, G. (2023). *Raspberry Pi Pico cookbook*. Packt Publishing.
- Widayaka, P. D., & Hidayat, S. (2022). Komparasi performansi sensor sebagai perangkat pengukuran ketinggian air pada sistem notifikasi banjir. *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*.