

Teleoperasi pada Autonomous Surface Vessel dengan Bantuan Data Seluler

1st Muhammad Insan Faqqih Fiddin

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

faqqihfidn@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Ridho Rosa

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

mridhorosa@telkomuniversity.ac.id

3rd Azam Zamhuri Fuadi

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

azamzamhurifuadi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Sistem IoT merupakan salah satu teknologi komunikasi dengan bantuan jaringan internet sebagai media perantara untuk mengendalikan robot atau mesin dari jarak jauh. Pada penelitian ini sistem IoT akan disematkan pada Autonomous Surface Vessel (ASV). ASV merupakan prototype kapal yang dapat bergerak otomatis menuju titik tujuan yang diperintahkan. ASV ini diharapkan dapat dimonitoring dan dikendalikan dari jarak 50-70m. Penelitian ini ASV menggunakan metode teleoperasi. Metode ini menggunakan sistem IoT dengan platform Antares, protokol MQTT dan protokol HTTP. Dalam menghubungkan ASV dengan pengguna, peneliti menggunakan nodemcu ESP 8266 dan Smartphone sebagai penyedia jaringan seluler. Protokol MQTT sebagai jalur komunikasi teleoperasi sedangkan protokol HTTP sebagai komunikasi monitoring. Data monitoring akan ditampilkan dalam Graphical User Interface (GUI). Hasil dari penelitian ini adalah ASV dapat dikendalikan dari Hasil dari penelitian ini adalah ASV dapat dikendalikan dari jarak 50m didapatkan rata-rata waktu pengiriman data 5 detik. ASV dapat dimonitoring dari jarak 50m dengan rata-rata waktu pengiriman data 2 menit 53 detik. Tingkat akurasi modul kompas 99,4% dan modul GPS memiliki tingkat akurasi 99%. Hasil ini didapatkan dengan melakukan pengujian sensor dan simulasi ASV.

Kata kunci—teleoperasi, MQTT, HTTP, jaringan 4G & 5G

I. PENDAHULUAN

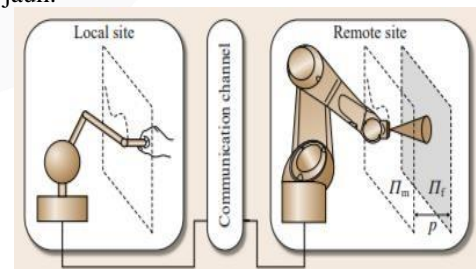
Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini sangat pesat, sehingga dibutuhkan inovasi yang terbaru. Mulai saat ini dengan hadirnya jaringan internet dapat menghubungkan komputer satu dengan yang lainnya. IoT merupakan salah satu inovasi menggunakan jaringan internet untuk menghubungkan mesin dengan mesin lainnya[1]. Peran manusia sebagai pengawas kerja mesin. Autonomous atau otomatisasi merupakan suatu sistem atau mesin yang melakukan pekerjaan secara otomatis sehingga tidak memerlukan bantuan manusia[2]. Sedangkan ASV merupakan kapal kecil yang dapat bergerak secara otomatis serta dapat memonitoring lingkungan disekitarnya[3]. ASV dapat beroperasi pada daerah berbahaya, malam hari dan daerah yang lebih luas. ASV dilengkapi sensor, aktuator, dan mikrokontroler untuk menganalisa lingkungan disekitar dan bergerak sesuai perintah yang diberikan. Pada penelitian sebelumnya ASV diberikan modul GPS, modul kompas, dan bluetooth. Akan tetapi modul bluetooth

memiliki kelemahan dalam jarak kendali[4]. Permasalahan pada penelitian ini jarak kendali ASV dengan operator terbatas dan kurangnya dalam tampilan penggunaan ASV. Oleh karena itu, membutuhkan metode teleoperasi untuk menambah jarak kendali ASV dengan pengguna dan graphical user interface untuk menampilkan informasi yang didapatkan ASV. ASV diharapkan dapat dikendalikan dari jarak jauh, serta dapat memonitoring lingkungan. GUI akan dirancang khusus kebutuhan ASV.

II. KAJIAN TEORI

A. Teleoperasi

Teleoperasi atau *teleoperation* berasal dari Yunani (tele) artinya jauh dan operatio, -onis berasal dari bahasa latin artinya pekerjaan atau sesuatu yang diselesaikan. Jadi teleoperasi adalah melakukan pekerjaan atau aksi dari jarak tertentu. Secara garis besar teleoperasi membutuhkan *local station*, *Network Module*, dan *remote station* [5]. *Local Station* adalah pos atau pangkalan operator memberikan perintah kepada mesin dari jarak jauh[5]. Sedangkan *remote station* adalah mesin atau robot menjalankan perintah yang diberikan operator[5]. *Communication module* sebagai perantara atau penghubung antara *local station* dan *remote station*. Berikut contoh gambar sistem teleoperasi melukis dengan jarak jauh.



Gambar 1. Contoh teleoperasi melukis

B. Data Seluler

Data seluler adalah data disediakan oleh jaringan internet[6]. Data seluler menjadi salah satu esensi dalam pergerakan populasi manusia di dunia[7]. Untuk mendapatkan data seluler dibutuhkan simcard GSM(*Global System for Mobile*). Data seluler dapat memudahkan dalam mengakses internet. Data seluler memiliki frekuensi 865 MHz - 2.4 GHz. Kecepatan pengiriman data untuk jaringan 4G 0.1 Gb – 1Gb/s. Jangkauan transmisi data terbatas jika masih dalam jangkauan area seluler[8].

C. Jaringan Internet

Internet adalah jaringan luas yang menghubungkan semua perangkat yang ada di dunia. Dalam internet, manusia dapat membagi informasi dan berkomunikasi dari mana saja dengan internet[9].

D. Internet of Things (IoT)

Internet of things atau lebih dikenal dengan IoT merupakan teknologi yang memanfaatkan koneksi internet. Teknologi ini memanfaatkan internet untuk saling membagi informasi atau data antar mesin atau perangkat[10]. Unsur pembentuk IoT antara lain: sensor atau *device*, konektivitas, data *processing*, dan *user interface*. IoT *platform* adalah wadah untuk menyimpan data dan mengolah data dari sensor ke perangkat IoT lainnya[11]. Contoh IoT *platform* antara lain: firebase, ubidots, thingspeak, blynk, antares, dan thingier io.

a. Antares

Antares merupakan salah satu *platform* IoT. *Platform* ini memiliki kelebihan yaitu *zero infrastructure management* sehingga tidak perlu repot mengurus server karena API sudah disediakan oleh antares. Memiliki keamanan yang cukup baik.

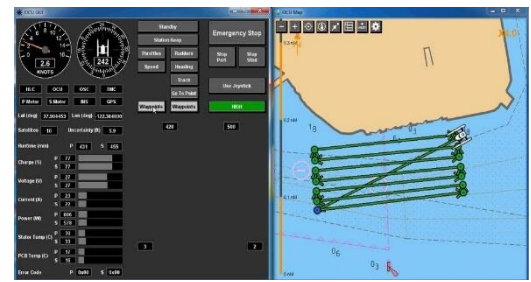
b. Message Queue Telemetry Transport MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) merupakan salah satu *protocol* IoT yang memiliki jangkauan luas dan menggunakan bandwidth rendah sehingga optimal dalam menggunakan jaringan internet[12].

c. Hyper Text Transfer Protocol HTTP(*Hyper Text Transfer Protocol*) merupakan salah satu protokol yang digunakan *World Wide Web* (WWW) dengan memberikan perintah kepada client server dan menerima respon dari client server[13]. HTTP merupakan protokol berbasis teks dalam pengiriman pesan tidak menentukan ukuran header dan payload pesan.

d. Graphical User Interface (GUI)

Graphical User Interface adalah salah satu jenis antarmuka pengguna dimana pengguna berinteraksi dengan perangkat elektronik melalui representasi *indicator visual*. Keunggulan GUI yaitu: simpel, mudah digunakan, menarik secara

visual, memudahkan pengguna awam dalam

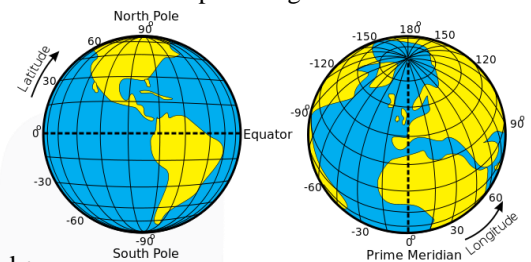


mengoperasikan GUI.

Gambar 2. Contoh GUI pada ASV

e. Longitude dan Latitude

Longitude atau garis meridian yang membentang dari utara hingga ke selatan relative terhadap garis *Greenwich Meridian*. Untuk perhitungan arah satelit, longitude ke arah barat bernilai negatif. Sedangkan latitude, menunjukkan seberapa jauh suatu titik dari utara dan selatan terhadap garis katulistiwa. Apabila suatu titik tepat pada garis katulistiwa maka latitude bernilai nol. Untuk perhitungan arah satelit latitude



ke selatan bernilai negatif.

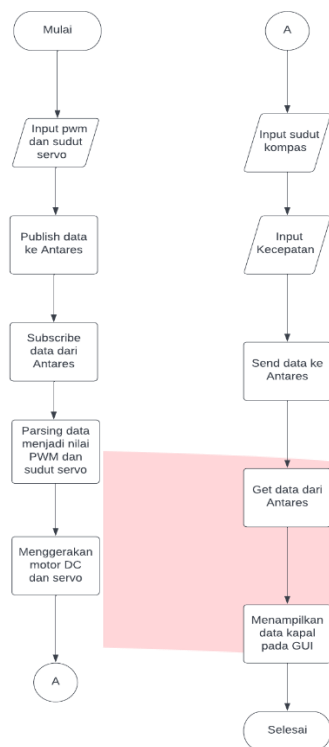
Gambar 3. Perbedaan longitude dan latitude

III. METODE

A. Desain Sistem

Penelitian ini melanjutkan penelitian sebelumnya yaitu mampu melakukan *manuver* secara efisien. Dalam segi perangkat keras memiliki 4 pasang motor DC sebagai penggerak dan 4 buah servo rudder sebagai kendali arah ASV. Untuk mikrokontroler menggunakan Arduino mega 2560 dan nodemcu ESP 8266. Kemudian BNO055 sebagai modul kompas dan adafruit GPS sebagai modul pembaca koordinat.

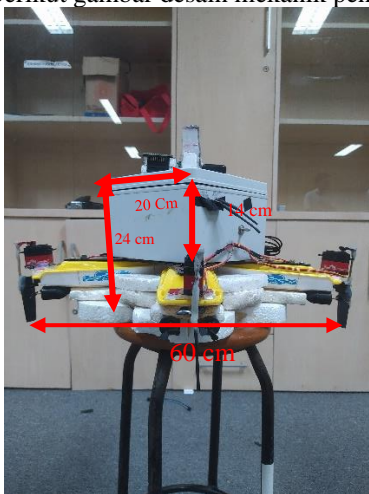
Dalam segi perangkat lunak, penelitian ini menggunakan QT Creator sebagai GUI pada perangkat ini. GUI sebagai *station monitor* untuk mengendalikan ASV dan memantau ASV. Kemudian untuk bagian komunikasi ASV dan pengguna. Peneliti menggunakan 4 nodemcu ESP 8266. Jalur komunikasi kendali ASV menggunakan protokol MQTT dan jalur komunikasi monitoring ASV menggunakan protokol HTTP. Untuk menghubungkan nodemcu ke antares. Peneliti menggunakan *hotspot smartphone* sebagai sumber data seluler.



Gambar 4. Diagram alir sistem

B. Desain Mekanik

Desain mekanik terdiri dari 4 pasang motor DC dan 4 servo rudder yang dipasangkan pada masing-masing direksi. Berikut gambar desain mekanik penelitian ini.



Gambar 5. Desain mekanik

Pada gambar 5 *Autonomous Surface Vessel* memiliki ukuran Panjang 60 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 24 cm. *Autonomous Surface Vessel* dirancang dengan 4 buah perahu dan kotak kubus untuk meletakkan komponen elektronika dan baterai. Servo dihubungkan dengan rudder untuk membantu mengubah arah *Autonomous Surface Vessel* dan 4 pasang motor DC untuk mendorong *Autonomous Surface Vessel*. Pada bagian

bawah terdapat *stryrofoam* membantu *Autonomous Surface Vessel* dapat terapung di atas air.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini menampilkan pengujian alat dan analisa yang didapatkan dari pengujian alat dan simulasi ASV. Pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisi dari sistem untuk memenuhi tujuan penelitian.

A. Pengujian adafruit GPS

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi adafruit GPS. Pengujian dengan mengambil titik koordinat di lokasi yang telah ditentukan. Hasil dari adafruit GPS berupa titik longitude dan titik latitude akan dibandingkan dengan google maps. Mencari nilai error pada modul Adafruit GPS dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{error} = \frac{(\text{Nilai ekspektasi} - \text{nilai real})}{\text{nilai ekspektasi}} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil pengujian adafruit GPS sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel pengujian latitude Adafruit GPS

Adafruit GPS	Google maps	Selisih	Error
-6.972.930	-6.972.970	-0.000004	0.0000005736
-6.972.940	-6.973.038	-0.000098	0.0000140542
-6.972.975	-6.973.050	-0.000075	0.0000107558
-6.973.015	-6.973.074	-0.000059	0.0000084612
-6.973.034	-6.973.130	-0.000096	0.0000137674
-6.973.095	-6.973.191	-0.000096	0.0000137674
-6.973.125	-6.973.233	-0.000108	0.0000154883
-6.973.133	-6.973.258	-0.000125	0.0000179263
-6.973.224	-6.973.333	-0.000109	0.0000156317
-6.973.330	-6.973.388	-0.000058	0.0000083178
Rata-rata error			0.0000118744

Tabel 2. Tabel pengujian longitude adafruit GPS

Adafruit GPS	Google maps	Selisih	Error
107.630.410	107.630.450	0.00004	0.0000003716
107.630.400	107.630.539	0.000139	0.0000012915
107.630.445	107.630.540	0.000095	0.0000008827
107.630.330	107.630.384	0.000054	0.0000005017
107.630.340	107.630.360	0.00002	0.0000001858
107.630.420	107.630.450	0.00003	0.0000002787
107.630.360	107.630.440	0.00008	0.0000007433
107.630.410	107.630.510	0.0001	0.0000009291
107.630.420	107.630.480	0.00006	0.0000005575
107.630.450	107.630.493	0.000043	0.0000003995
Rata-rata error			0.0000006141

Dari hasil tabel 1 dan 2 pengujian diketahui memiliki nilai error antara pembacaan latitude dan longitude pada Adafruit GPS dan Google maps. Pada latitude terdapat error 0.0000118744 dan longitude 0.0000006141. Pada tabel

dibawah ini diketahui nilai error dan nilai akurasi pada modul Adafruit GPS sebagai berikut.

Tabel 3. Tabel hasil pengujian error modul GPS

Koordinat	Rata-rata error	Akurasi
Latitude	0.0000118744	99,9988%
Longitude	0.0000006141	99,9999%

Dari hasil tabel 3 modul adafruit GPS memiliki tingkat akurasi 99,9%. Untuk hasil optimal dalam memberikan informasi koordinat *Autonomous Surface Vessel*.

B. Pengujian modul kompas (BNO055)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi modul kompas (BNO055). Pengujian dengan melakukan kalibrasi ulang dengan membandingkan aplikasi kompas. Nilai modul kompas akan dibandingkan dengan nilai aplikasi kompas. Berikut hasil pengujian modul kompas.

Tabel 4. Tabel pengujian modul kompas sudut 90°

BNO056	Kompas	Selisih	Error
90.85	90	-0.85	-0.00944
89.73	90	0.27	0.003
89.78	90	0.22	0.002444
90.87	90	-0.87	-0.00967
84.11	90	5.89	0.065444
90.29	90	-0.29	-0.00322
91.46	90	-1.46	-0.01622
88.50	90	1.50	0.016667
90.34	90	-0.34	-0.00378
87.98	90	2.02	0.022444
93.29	90	-3.29	-0.03656
93.40	90	-3.40	-0.03778
91.03	90	-1.03	-0.01144
87.34	90	2.66	0.029556
89.98	90	0.02	0.000222
Rata-rata error			0.000778

Tabel 5. Tabel pengujian modul kompas sudut 180°

BNO057	Kompas	Selisih	Error
179.11	180	0.89	0.004944
178.61	180	1.39	0.007722
177.63	180	2.37	0.013167
177.33	180	2.67	0.014833
180	180	0	0
178.61	180	1.39	0.007722
178.60	180	1.4	0.007778
179.42	180	0.58	0.003222
177.41	180	2.59	0.014389
179.93	180	0.07	0.000389
178.59	180	1.41	0.007833
179.40	180	0.6	0.003333
179.11	180	0.89	0.004944
179.12	180	0.88	0.004889
178.15	180	1.85	0.010278
Rata-rata error			0.00702953

Tabel 6. Tabel pengujian modul kompas sudut 270°

BNO058	Kompas	Selisih	Error
269.69	270	0.31	0.001148
275.44	270	-5.44	-0.02015
270.44	270	-0.44	-0.00163
269.75	270	0.25	0.000926
269.75	270	0.25	0.000926
269.75	270	0.25	0.000926
269.13	270	0.87	0.003222
267.94	270	2.06	0.00763
267.19	270	2.81	0.010407
268.38	270	1.62	0.006
268.81	270	1.19	0.004407
269.44	270	0.56	0.002074
268.31	270	1.69	0.006222
270.81	270	-0.81	-0.003
267.94	270	2.06	0.00763
Rata-rata error			0.00178253

Tabel 7. Tabel pengujian modul kompas sudut 360°

BNO059	Kompas	Selisih	Error
358.88	360	1.12	0.003111
358.81	360	1.19	0.003306
358.88	360	1.12	0.003111
352.06	360	7.92	0.022
358.13	360	1.87	0.005194
358.00	360	2	0.005556
359.94	360	0.06	0.000167
359.94	360	0.06	0.000167
359.13	360	0.87	0.002417
355.13	360	4.87	0.013528
320.25	360	39.75	0.110417
359.75	360	0.25	0.000694
358.25	360	1.75	0.004861
359.94	360	0.06	0.000167
359.38	360	0.62	0.001722
Rata-rata error			0.011761

Dari hasil tabel 4,5,6,dan 7 pengujian diketahui memiliki rata-rata error antara pembacaan sudut BNO055 dan sudut aplikasi kompas. Pada sudut 900 terdapat rata-rata error 0.000778 , sudut 1800 terdapat rata-rata error 0.00702953 , sudut 2700 terdapat rata-rata error 0.00178253 , dan sudut 3600 terdapat rata-rata error 0.011761 . Pada tabel dibawah ini diketahui nilai error dan nilai akurasi pada modul BNO055 sebagai berikut.

Tabel 8. Tabel hasil pengujian error modul kompas

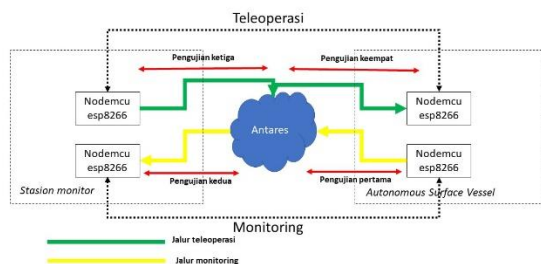
Sudut	Rata-rata error	Akurasi
90	0.00078	99.92%
180	0.00703	99.30%

270	0.00178	99.82%
360	0.01176	98.82%

Pada tabel 4.20 diketahui modul BNO055 memiliki akurasi sudut kompas dengan rata-rata 99.47%. Akurasi ini cukup optimal dalam mengukur sudut kompas. Sehingga modul BNO055 sangat optimal dan akurat dalam sistem ASV.

C. Pengujian data seluler

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat responsif data seluler dalam mengirimkan data dan menerima data. Peneliti akan melakukan pengujian dalam beberapa tahap. Pengujian akan membandingkan dengan 3 data seluler yaitu jaringan 2G, jaringan 3G, dan jaringan 4G. Peneliti melakukan percobaan pada sisi monitoring (protokol HTTP) dan sisi teleoperasi (protokol MQTT). Berikut tabel pengujian monitoring jaringan 4G, 3G dan 2G.



Gambar 6. Ilustrasi pengujian data seluler

Tabel 9. Pengujian pertama jaringan 4G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu nodemcu (ASV) mengirim data ke antares	Waktu antares menerima data	Selisih waktu
08:49:53	08:49:54	00:00:01
08:50:14	08:50:15	00:00:01
08:52:35	08:52:36	00:00:01
08:53:55	08:53:56	00:00:01
08:59:02	08:59:03	00:00:01
09:00:39	09:00:40	00:00:01
09:02:42	09:02:43	00:00:01
09:09:51	09:09:52	00:00:01
09:11:46	09:11:48	00:00:02
09:14:47	09:14:48	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:01

Tabel 10. Pengujian kedua jaringan 4G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu antares kirim data	Waktu nodemcu (station monitor) menerima data dari antares	Selisih waktu
08:49:54	08:50:21	00:00:27

08:50:15	08:50:38	00:00:23
08:52:36	08:52:56	00:00:20
08:53:56	08:54:23	00:00:27
08:59:03	08:59:34	00:00:31
09:00:40	09:00:43	00:00:03
09:02:43	09:03:01	00:00:18
09:09:52	09:10:13	00:00:21
09:11:48	09:12:14	00:00:26
09:14:48	09:15:07	00:00:19
Rata-rata waktu		00:00:21

Tabel 11. Pengujian ketiga jaringan 4G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

Waktu nodemcu (station monitor) mengirim data ke antares	Waktu antares menerima data	Selisih waktu
09:54:40	09:54:42	00:00:02
10:01:22	10:01:23	00:00:01
10:06:09	10:06:10	00:00:01
10:11:11	10:11:12	00:00:01
10:15:27	10:15:29	00:00:02
10:18:14	10:18:15	00:00:01
10:23:55	10:23:56	00:00:01
10:30:32	10:30:33	00:00:01
10:33:16	10:33:16	00:00:00
10:35:29	10:35:30	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:01

Tabel 12. Pengujian keempat jaringan 4G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

Waktu antares kirim data	Waktu nodemcu (ASV) menerima data dari antares	Selisih waktu
09:54:42	09:54:45	00:00:03
10:01:23	10:01:25	00:00:02
10:06:10	10:06:11	00:00:01
10:11:12	10:11:20	00:00:08
10:15:29	10:15:37	00:00:08
10:18:15	10:18:16	00:00:01
10:23:56	10:23:57	00:00:01
10:30:33	10:30:34	00:00:01
10:33:16	10:33:17	00:00:01
10:35:30	10:35:31	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:03

Tabel 13. Pengujian pertama jaringan 3G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu nodemcu (ASV) mengirim data ke antares	Waktu antares menerima data	Selisih waktu
10:45:53	10:45:55	00:00:02

10:46:49	10:46:51	00:00:02
10:48:15	10:48:17	00:00:02
10:49:21	10:49:22	00:00:01
10:50:05	10:50:07	00:00:02
10:51:39	10:51:40	00:00:01
10:52:15	10:52:17	00:00:02
10:53:20	10:53:21	00:00:01
10:55:02	10:55:03	00:00:01
10:58:25	10:58:26	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:01

Tabel 14. Pengujian kedua jaringan 3G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu antares kirim data	Waktu nodemcu (station monitor) menerima data dari antares	Selisih waktu
10:45:55	10:46:11	00:00:16
10:46:51	10:47:20	00:00:29
10:48:17	10:48:47	00:00:30
10:49:22	10:49:39	00:00:17
10:50:07	10:50:31	00:00:24
10:51:40	10:51:58	00:00:18
10:52:17	10:52:32	00:00:15
10:53:21	10:53:42	00:00:21
10:55:03	10:55:26	00:00:23
10:58:26	10:58:59	00:00:33
Rata-rata waktu		00:00:23

Tabel 15. Pengujian ketiga jaringan 3G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

waktu nodemcu (station monitor) mengirim data ke antares	waktu antares menerima data	Selisih waktu
11:16:57	11:16:58	00:00:01
11:27:54	11:27:57	00:00:03
11:31:24	11:31:25	00:00:01
11:38:42	11:38:45	00:00:03
11:42:20	11:42:23	00:00:03
11:44:50	11:44:51	00:00:01
11:47:19	11:47:20	00:00:01
11:49:44	11:49:45	00:00:01
11:51:42	11:51:44	00:00:02
11:53:47	11:53:48	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:02

Tabel 16. Pengujian keempat jaringan 3G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

Waktu Antares mengirim data	Waktu nodemcu (ASV) menerima data dari antares	Selisih waktu
11:16:58	11:17:19	00:00:21

11:27:57	11:27:58	00:00:01
11:31:25	11:31:49	00:00:24
11:38:45	11:39:01	00:00:16
11:42:23	11:42:47	00:00:24
11:44:51	11:45:06	00:00:15
11:47:20	11:47:39	00:00:19
11:49:45	11:50:12	00:00:27
11:51:44	11:51:59	00:00:15
11:53:48	11:54:02	00:00:14
Rata-rata waktu		00:00:18

Tabel 17. Pengujian pertama jaringan 2G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu nodemcu (ASV) mengirim data ke antares	Waktu antares menerima data	Selisih waktu
12:21:31	12:21:33	00:00:02
12:21:53	12:21:55	00:00:02
12:23:22	12:23:23	00:00:01
12:23:58	12:24:00	00:00:02
12:24:51	12:24:53	00:00:02
12:25:23	12:25:24	00:00:01
12:26:36	12:26:37	00:00:01
12:27:04	12:27:06	00:00:02
12:29:33	12:29:34	00:00:01
12:30:18	12:30:20	00:00:02
Rata-rata waktu		00:00:02

Tabel 18. Pengujian kedua jaringan 2G sisi monitoring (protokol HTTP)

Waktu antares mengirim data	Waktu nodemcu (station monitoring) menerima data	Selisih waktu
12:21:33	12:21:55	00:00:22
12:21:55	12:22:26	00:00:31
12:23:23	12:23:38	00:00:15
12:24:00	12:24:50	00:00:50
12:24:53	12:25:11	00:00:18
12:25:24	12:25:56	00:00:32
12:26:37	12:27:18	00:00:41
12:27:06	12:27:36	00:00:30
12:29:34	12:30:07	00:00:33
12:30:20	12:30:52	00:00:32
Rata-rata waktu		00:00:30

Tabel 19. Pengujian ketiga jaringan 2G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

Waktu nodemcu (station monitoring) mengirim	waktu antares menerima data	Selisih waktu
---	-----------------------------	---------------

data ke antares		
12:55:15	12:55:17	00:00:02
13:02:46	13:02:47	00:00:01
13:04:43	13:04:45	00:00:02
13:06:37	13:06:39	00:00:02
13:09:30	13:09:33	00:00:03
13:11:42	13:11:44	00:00:02
13:13:14	13:13:16	00:00:02
13:15:07	13:15:10	00:00:03
13:16:54	13:16:56	00:00:02
13:18:48	13:18:49	00:00:01
Rata-rata waktu		00:00:02

Tabel 20. Pengujian keempat jaringan 2G sisi teleoperasi (protokol MQTT)

waktu antares mengirim data	waktu nodemcu (ASV) menerima data	Selisih waktu
12:55:17	12:55:35	00:00:18
13:02:47	13:03:02	00:00:15
13:04:45	13:05:06	00:00:21
13:06:39	13:06:52	00:00:13
13:09:33	13:09:58	00:00:25
13:11:44	13:12:01	00:00:17
13:13:16	13:13:35	00:00:19
13:15:10	13:15:38	00:00:28
13:16:56	13:17:11	00:00:15
13:18:49	13:19:08	00:00:19
Rata-rata waktu		00:00:19

Pada tabel 9 sampai 20 pengujian dengan melakukan perbandingan dengan jaringan 4G, 3G, dan 2G dalam sisi monitoring dan sisi teleoperasi. Pada pengujian ini jarak Autonomous surface vessel dan station monitor berjarak 1 m. Dari 12 pengujian data seluler didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 21. Hasil 6 pengujian monitoring menggunakan jaringan seluler

Monitoring	
Jaringan seluler	Rata-rata waktu
Jaringan 4G	22 detik
Jaringan 3G	25 detik
Jaringan 2G	32 detik

Tabel 22. Hasil 6 pengujian teleoperasi menggunakan jaringan seluler

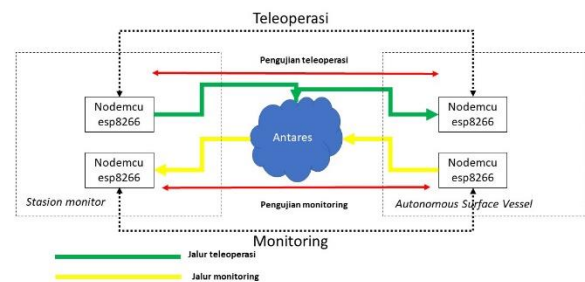
Teleoperasi	
Jaringan seluler	Rata-rata waktu
Jaringan 4G	4 detik
Jaringan 3G	20 detik
Jaringan 2G	21 detik

Pada Tabel 21 dan 22 diketahui monitoring menggunakan jaringan 4G memiliki rata-rata waktu 22 detik dalam

mengirimkan data ASV. Teleoperasi menggunakan jaringan 4G memiliki rata-rata waktu 4 detik. Jaringan 4G lebih cepat dari jaringan 3G dan 2G dalam mengirimkan data ASV dan target ASV. Dapat disimpulkan jaringan 4G optimal dalam metode teleoperasi dan monitoring. Sehingga untuk mengendalikan Autonomous Surface Vessel lebih responsif dalam mengubah arah dan kecepatan ASV. Data monitoring lebih cepat sampai untuk ditampilkan dalam Graphical User Interface.

D. Pengujian sistem IoT

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem IoT dalam mengirim data. Pengujian dibagi dalam beberapa tahap yaitu: pengujian teleoperasi dan pengujian monitoring.



Gambar 7. Gambar ilustrasi pengujian Sistem IoT

Seperti gambar 4.23 pengujian ini dengan mengukur waktu tempuh dari nodemcu pengirim sampai nodemcu penerima. Berikut tabel pengujian sistem IoT.

Tabel 23. Tabel pengujian teleoperasi menggunakan protokol MQTT dan jaringan 4G

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
10:16:29	10:16:32	00:00:03
10:16:30	10:16:33	00:00:03
10:16:32	10:16:35	00:00:03
10:16:32	10:16:37	00:00:05
10:16:34	10:16:39	00:00:05
10:16:36	10:16:40	00:00:04
10:16:37	10:16:41	00:00:04
10:16:40	10:16:43	00:00:03
10:16:39	10:16:44	00:00:05
10:16:42	10:16:45	00:00:03
Rata-rata waktu		00:00:04

Tabel 24. Tabel pengujian monitoring menggunakan protokol HTTP dan jaringan 4G

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
10:47:06	10:47:28	00:00:22
10:48:08	10:48:37	00:00:29

10:51:35	10:52:04	00:00:29
10:53:09	10:53:31	00:00:22
11:02:38	11:03:07	00:00:29
11:07:11	11:07:25	00:00:14
11:07:36	11:08:00	00:00:24
11:08:00	11:08:17	00:00:17
11:08:21	11:08:34	00:00:13
11:10:47	11:11:10	00:00:23
Rata-rata waktu		00:00:22

Tabel 25. Pengujian monitoring ASV dengan jarak 50m

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
17:51:03	17:54:52	00:03:49
17:51:41	17:55:09	00:03:28
17:56:30	17:56:53	00:00:23
17:58:19	18:01:28	00:03:09
18:09:19	18:11:17	00:01:58
14:25:21	14:26:38	00:01:17
14:29:48	14:32:38	00:02:50
14:31:22	14:34:57	00:03:35
14:35:04	14:39:28	00:04:24
14:49:07	14:53:05	00:03:58
Rata-rata waktu		00:02:53

Tabel 26. Pengujian monitoring ASV dengan jarak 10m

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
18:15:42	18:16:12	00:00:30
18:16:13	18:17:04	00:00:51
18:20:59	18:21:23	00:00:24
18:21:19	18:21:57	00:00:38
18:22:31	18:23:11	00:00:40
14:52:04	14:52:24	00:00:20
14:53:11	14:53:27	00:00:16
14:54:28	14:55:01	00:00:33
14:55:34	14:56:03	00:00:29
14:57:05	14:58:39	00:01:34
Rata-rata waktu		00:00:37

Tabel 27 Pengujian teleoperasi ASV dengan jarak 50m

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
15:39:03	15:39:11	00:00:08
15:44:22	15:44:29	00:00:07
15:47:48	15:47:54	00:00:06
15:52:33	15:52:36	00:00:03
15:55:47	15:55:51	00:00:04
15:58:22	15:58:26	00:00:04
16:02:19	16:02:26	00:00:07
16:04:52	16:04:56	00:00:04
16:06:43	16:06:47	00:00:04

16:07:36	16:07:41	00:00:05
Rata-rata waktu		00:00:05

Tabel 28 Pengujian teleoperasi ASV dengan jarak 10m

Waktu mengirim data	Waktu menerima data	Selisih waktu
16:11:38	16:11:42	00:00:04
16:13:24	16:13:27	00:00:03
16:14:46	16:14:49	00:00:03
16:19:03	16:19:08	00:00:05
16:22:49	16:22:53	00:00:04
16:26:13	16:26:18	00:00:05
16:28:19	16:28:24	00:00:05
16:33:17	16:33:22	00:00:05
16:42:19	16:42:23	00:00:04
16:44:28	16:44:32	00:00:04
Rata-rata waktu		00:00:04

Dari tabel 23 dan 24 diketahui hasil pengujian sistem IoT. Pengujian dilakukan dengan jarak 1m antara asv dengan station monitor. Teleoperasi memiliki rata-rata waktu 4 detik dan monitoring memiliki rata-rata waktu 22 detik. Penelitian selanjutnya dengan melakukan pengujian dengan jarak 50m dan 10m. Didapatkan pada tabel 25 sampai tabel 28 diketahui untuk monitoring dengan jarak 10m memiliki rata-rata waktu 37 detik sedangkan jarak 50m memiliki rata-rata waktu 2 menit 53 detik. Teleoperasi dengan jarak 10m memiliki rata-rata waktu 4 detik dan jarak 50m memiliki rata-rata waktu 5 detik. Semua pengujian ini menggunakan jaringan 4G.

E. Percobaan titik sembarang

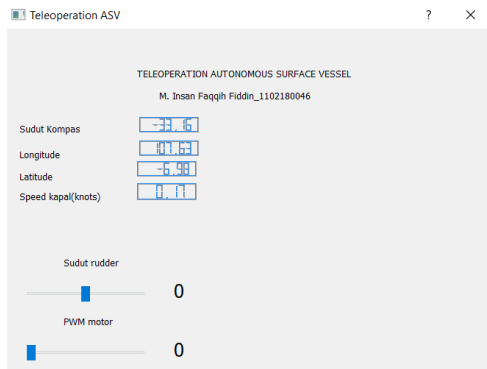
Pada percobaan ASV akan digerakan dengan satu titik tujuan bebas. Pilot akan mengendalikan ASV di tengah jembatan. Percobaan ini dilakukan di Danau Universitas Telkom dengan diameter 38.14m. ASV akan diletakan di ujung jembatan. Berikut adalah hasil dari percobaan satu titik.



Gambar 8. Gambar percobaan pertama



Gambar 9. Gambar percobaan kedua



Gambar 10. Gambar tampilan GUI menerima data dari ASV

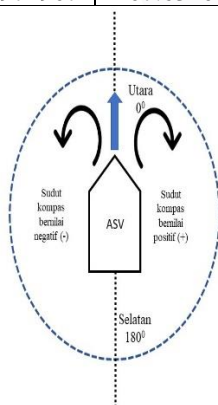
Tabel 29. Tabel Percobaan pertama

Sudut kompas	Latitude	Longitude	Kecepatan ASV (m/s)
-8.12	-6.972913	107.6311	0.061
8.26	-6.972927	107.6311	0.097
-7.49	-6.972903	107.6312	0.123
-6.22	-6.972907	107.6312	0.082
0	-6.972912	107.6312	0.056
-5.78	-6.972881	107.6311	0.066
-9.11	-6.972885	107.6311	0.072
11.83	-6.972861	107.6311	0.056
25.02	-6.972835	107.6311	0.046

Berikut tabel hasil percobaan kedua.

Tabel 30. Tabel Percobaan kedua

Sudut kompas	Latitude	Longitude	Kecepatan ASV(m/s)
100.4	-6.972863	107.6312	0
91.06	-6.972875	107.6311	0.041
59.91	-6.972897	107.6311	0.061
107.93	-6.972893	107.6311	0.082
-6.5	-6.972915	107.6311	0.056
-150.66	-6.972822	107.6311	0.056
-118.47	-6.972891	107.6310	0.072
34.03	-6.972907	107.6310	0.020



Gambar 11. Gambar Ilustrasi sudut kompas

Ketika ASV berbelok ke arah kiri. Sudut kompas akan bernilai negatif. Percobaan pertama dilakukan saat air bergelombang dan berangin. Saat ASV dikendalikan ke

tengah danau. ASV terdorong ke pinggir danau. Pada percobaan kedua dilakukan saat air tidak bergelombang dan tidak berangin. Dari percobaan pertama dan kedua diketahui ASV dapat bergerak dengan dikendalikan pilot dari jarak jauh dan ASV dapat dimonitoring.



Gambar 12. Dokumentasi percobaan pertama



Gambar 13. Dokumentasi percobaan kedua

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini menggunakan metode teleoperasi untuk mengendalikan dan memonitoring ASV saat berlayar maupun saat didarat. Dalam sistem ASV menggunakan modul adafruit GPS dan modul kompas (adafruit BNO055). Modul tersebut untuk memberikan informasi sudut kompas dan koordinat ASV. Kemudian informasi tersebut akan ditampilkan dalam GUI. Data seluler berperan penting dalam sistem IoT. Pengujian data seluler jaringan 4G memiliki rata-rata waktu untuk teleoperasi 4 detik dan monitoring 22 detik. Jaringan 4G lebih cepat dari jaringan 3G dan 2G. Sehingga bagus untuk metode teleoperasi. Protokol MQTT dalam metode teleoperasi pengujian berjarak 50m memiliki rata-rata waktu 5 detik. Sedangkan protokol HTTP dalam metode monitoring berjarak 50m memiliki rata-rata waktu 2 menit 53 detik. Sehingga Autonomous Surface Vessel dengan mudah untuk dikendalikan dan memonitoring keberadaannya.

REFERENSI

- [1] A. M. A. Jalil, R. Mohamad, N. M. Anas, M. Kassim, and S. I. Suliman, "Implementation of vehicle ventilation system using nodemcu ESP8266 for remote monitoring," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.11591/eei.v10i1.2669.
- [2] H. Mansor, M. H. Norhisam, Z. Z. Abidin, and T. S. Gunawan, "Autonomous surface vessel for search and rescue operation," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 3, 2021, doi: 10.11591/eei.v10i3.2599.
- [3] S. Park, M. Cap, J. Alonso-Mora, C. Ratti, and D. Rus, "Social Trajectory Planning for Urban Autonomous Surface Vessels," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 37, no. 2, pp. 452–465, Apr. 2021, doi: 10.1109/TRO.2020.3031250.
- [4] B. Liu *et al.*, "Collective Dynamics and Control for Multiple Unmanned Surface Vessels," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 28, no. 6, 2020, doi: 10.1109/TCST.2019.2931524.
- [5] Z. Hong, Q. Zhang, and X. Su, "Virtual Annotations as Assistance for Construction Equipment Teleoperation," in *Proceedings of the 24th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-8892-1_83.
- [6] H. Y. Hsieh and R. Sivakumar, "On Using Peer-to-Peer Communication in Cellular Wireless Data Networks," *IEEE Trans Mob Comput*, vol. 3, no. 1, 2004, doi: 10.1109/TMC.2004.1261817.
- [7] A. Hadachi, M. Pourmoradnasseri, and K. Khoshkhah, "Unveiling large-scale commuting patterns based on mobile phone cellular network data," *J Transp Geogr*, vol. 89, 2020, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102871.
- [8] D. Gundlegård, C. Rydergren, N. Breyer, and B. Rajna, "Travel demand estimation and network assignment based on cellular network data," *Comput Commun*, vol. 95, 2016, doi: 10.1016/j.comcom.2016.04.015.
- [9] M. Newman, *Networks: An Introduction*. 2010. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001.
- [10] M. Al-Emran, S. I. Malik, and M. N. Al-Kabi, "A Survey of Internet of Things (IoT) in Education: Opportunities and Challenges," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 846, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-24513-9_12.
- [11] M. Fahmideh and D. Zowghi, "An exploration of IoT platform development," *Information Systems*, vol. 87, 2020. doi: 10.1016/j.is.2019.06.005.
- [12] S. Quincozes, T. Emilio, and J. Kazienko, "MQTT protocol: Fundamentals, tools and future directions," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 9, 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8931137.
- [13] A. Kumar, "Hypertext Transfer Protocol (HTTP)," in *Web Technology*, 2019. doi: 10.1201/9781351029902-4.