

Desain Prototype Sistem Kendali dan Pelacakan pada Mesin Boat

Rizky Edi Saputra¹, Suci Aulia¹, Syahban Rangkuti²

¹Telkom University

Jl. Telekomunikasi No. 1, Terusan Buah Batu, Bandung 40257

²Universitas Faletahan

Jl. Parakan Resik No.2 Kelurahan Batu Nunggal Bandung 40266

e-mail: suciaulia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Indonesia merupakan negara kepulauan dengan lebih dari 70% wilayahnya terdiri dari perairan. Karena kondisi geografis tersebut, banyak dari masyarakat Indonesia menggantungkan transportasi air sebagai sarana transportasi penyeberangan. Namun banyak dari transportasi penyeberangan di Indonesia masih menggunakan sistem kendali manual dalam menentukan titik arah tujuan dari *boat*. Pada studi ini dirancang prototipe sistem kendali dan pelacakan pada mesin *boat* yang dapat digunakan sebagai sistem kendali otomatis (*autopilot*) pada transportasi air. Sistem ini dirancang menggunakan sistem *waypoint control* yang dapat bernavigasi secara otomatis menuju suatu lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sistem kendali ini dirancang dengan sistem elektrik kendali yang memanfaatkan mikrokontroler, modul *Global Positioning System* (GPS) dan modul kompas sebagai perangkat kendali navigasi. Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi pembacaan koordinat GPS sejauh 4,8 meter dan berdasarkan pengujian sistem navigasi *waypoint*, didapatkan tingkat akurasi sistem sejauh 10,8 meter.

Kata kunci: *navigasi, waypoint control, mikrokontroler, gps, kompas*

Abstract—Indonesia is an archipelago country with more than 70% of its territory consisting of water. Due to these geographical conditions, many Indonesian people rely on water transportation as a means of crossing transportation. However, many of the crossings in Indonesia still use a manual control system in determining the direction of the boat. In this study, a prototype control and tracking system designed for a boat engine can be used as an automatic control system (*autopilot*) in water transportation. This system is created using a waypoint control system that can navigate automatically to a predetermined location. This control system is designed with an electric control system that utilizes a microcontroller, GPS (*Global Positioning System*) module, and compass module as a navigation control device. From the test results, it can be concluded that the level of accuracy of the GPS coordinates reading is as far as 4.8 meters and based on the test of the waypoint navigation system, the system accuracy level is 10.8 meters.

Keywords: *navigation, waypoint control, microcontroller, gps, compass*

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan, dimana 70% lebih terdiri dari perairan sehingga transportasi air masih menjadi sarana utama transportasi penyeberangan. Namun demikian, banyak penyeberangan perbatasan di Indonesia masih menggunakan sistem kendali manual dengan bantuan manusia untuk mengontrol arah atau tujuan kapal. Selain itu, sistem kendali dengan *tracking* sangat diperlukan untuk pengawasan di lingkungan maritim dalam memerangi berbagai aktivitas kriminal, termasuk serangan bajak laut, trailer penangkapan ikan tanpa izin, dan perdagangan manusia [1], [2]. Berdasarkan permasalahan tersebut munculah ide untuk mengembangkan sistem kendali dan pelacakan prototipe pada mesin kapal, yang dapat digunakan sebagai sistem *autopilot* atau kendali otomatis untuk transportasi air [3], [4].

Kehadiran teknologi kendali otomatis pada kapal

tanpa awak, maka kapal ataupun *boat* diharapkan dapat membantu tugas manusia. Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe otomatisasi sistem kendali dan pelacak pada mesin *boat* dengan bantuan sistem navigasi. Sistem navigasi berfungsi sebagai alat pemandu agar dapat mendeteksi keberadaan *boat* saat berpindah tempat [5]. Sistem navigasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem *waypoint control* yang berbasis pada koordinat *latitude* (garis lintang) dan *longitude* (garis bujur) [6]setidaknya adalah identifikasi koordinat titik jalan (*waypoint*) [7]. Perancangan sistem kendali dan *tracking* ini memanfaatkan mikrokontroler, modul *Global Positioning System* (GPS) untuk *waypoint control*, dan modul kompas sebagai penentu arah *boat* [8]. Data dari modul GPS dan kompas tersebut kemudian diproses oleh modul Arduino mega 2560 sebagai kendali dan pemrosesan utama. Selanjutnya data masukan yang berasal dari modul GPS dan *magnetic* kompas, diproses

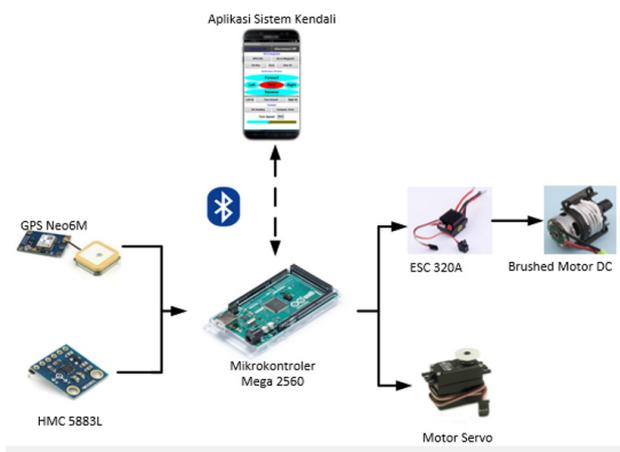
oleh mikrokontroler sehingga sistem penggerak pada *boat* dapat bergerak secara mandiri sesuai dengan data masukan.

Data masukan merupakan data dari GPS berupa data *setting* dan data *realtime*. Data *setting* adalah data lokasi *docking point* kapal, sedangkan data *realtime* adalah data lokasi kapal yang sebenarnya. Selain dapat dikendalikan secara otomatis, *prototype boat* ini dapat dikendalikan secara manual melalui suatu aplikasi yang saling terhubung dengan media komunikasi *bluetooth*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mendesain sebuah prototipe sistem kendali dan *tracking* yang akan diimplementasikan pada sebuah *Remote Control (RC) Boat* menggunakan mikrokontroler dan media komunikasi *bluetooth*. Sistem kendali dilengkapi dengan sensor kompas, modul GPS, modul *Bluetooth*, modul *Electronic Speed Control (ESC)*, *motor servo*, dan juga *brushed motor DC* sebagai komponen untuk membuat *boat* bergerak, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Fungsi dari sensor kompas adalah untuk mengetahui dimana arah robot menghadap dan posisi sudut target tujuan. fungsi dari modul GPS adalah untuk mengetahui dimana lokasi *boat* serta titik kordinat tujuan. Modul *bluetooth* digunakan sebagai media komunikasi dari sistem kendali pada *smartphone* dengan perangkat mikrokontroler sebagai kendali utama dari beberapa komponen yang digunakan. *Motor servo* digunakan untuk menggerakkan *rudder* dari *boat*, sehingga *boat* dapat bergerak menuju arah titik tujuan.

Seperti yang ditampilkan pada Gambar 1, terlihat bahwa sistem yang dibuat pada eksperimen ini dibedakan menjadi 2 bagian yang dikerjakan pada saat pembuatan prototipe sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat* yaitu, *software* dan *hardware*. Pada bagian *hardware* meliputi pembacaan titik kordinat tujuan, arah tujuan *boat*, dan penerimaan sistem kendali dari sebuah aplikasi yang terdapat pada *smartphone* dengan bantuan media komunikasi *bluetooth*. Pada bagian *software*, meliputi pengerjaan sebuah aplikasi untuk melakukan pengendalian alat pada bagian *software* dengan bantuan *platform Mit*



Gambar 1. Diagram ilustrasi keseluruhan sistem

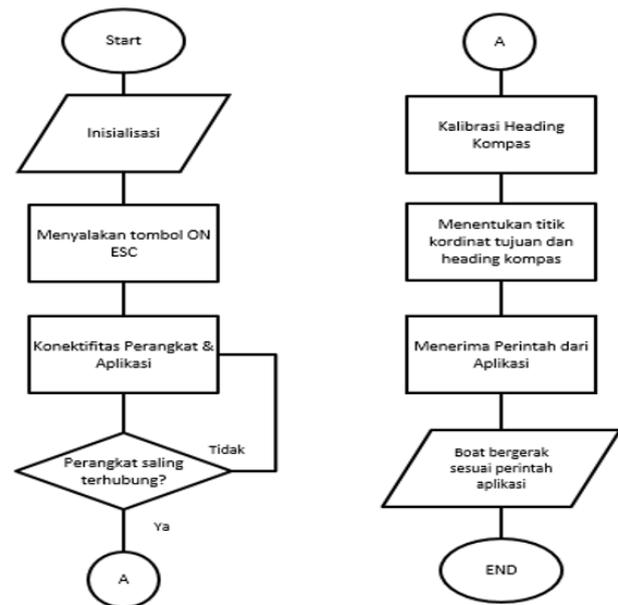
APP Invertor untuk mengeksekusi perintah sesuai dengan perintah pada aplikasi.

A. Sistem Kendali dan Tracking

Cara kerja keseluruhan sistem pertama kali adalah inialisasi untuk mengaktifkan semua variabel yang telah dimasukkan pada program. Setelah itu *user* dapat menyalakan tombol 'ON' yang terdapat pada *boat* untuk mengaktifkan perangkat ESC sebagai pengendali kecepatan dari motor. Setelah keseluruhan perangkat telah aktif, Kemudian *user* dapat mengkoneksikan aplikasi sistem kendali pada *smartphone* dengan perangkat mikrokontroler dengan bantuan media komunikasi *bluetooth* dan modul HC-05 pada perangkat *hardware*. Jika perangkat mikrokontroler belum terkoneksi dengan aplikasi maka dilakukan proses koneksi kembali. Setelah seluruh perangkat terhubung, *user* memutar *boat* sejauh 360 derajat untuk melakukan kalibrasi *heading* kompas. Kemudian *user* dapat menentukan titik koordinat tujuan dan *heading* dari kompas. Setelah itu *boat* akan bergerak sesuai perintah pada sistem kendali yang terdapat pada *smartphone*. Sedangkan untuk diagram alir keseluruhan sistem kendali dan *tracking* dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Sistem navigasi

Navigasi adalah suatu ilmu untuk menentukan posisi kapal di laut dengan melakukan *steering* kapal secara aman dari satu tempat ke tempat lain. Sistem navigasi terdiri dari dua bagian, yaitu kompas pada bagian analog dan GPS pada bagian digital. GPS merupakan perangkat navigasi yang dapat melacak keberadaan suatu objek berbasis satelit [8]. Navigasi dan kendali dari sebuah kendaraan otonom merupakan tugas yang sangat kompleks. Untuk membuat kendaraan mampu berjalan tanpa awak atau biasa disebut dengan *autopilot*



Gambar 2. Diagram alir sistem kendali dan pelacakan pada mesin boat

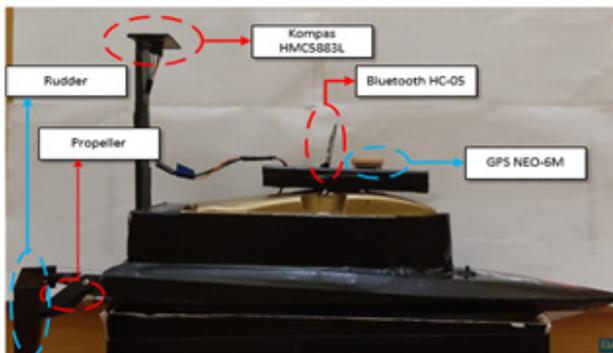
membutuhkan pengetahuan teoritikal dan praktikal tentang navigasi [9] khususnya sungai, memiliki peranan penting untuk kehidupan manusia. Untuk mencegah kerusakan pada daerah tersebut, maka ada baiknya jika dilakukan pemantauan dan pengukuran secara berkala untuk beberapa parameter yang dapat memberi tanda atau peringatan dini terhadap ketidak normalan yang terjadi daerah ini sehingga dapat dilakukan antisipasi secara tepat dan cepat. Atas ide inilah diciptakan sebuah Unmanned Surface Vehicle yang ditujukan untuk mempermudah proses pemantauan daerah perairan. USV yang digunakan yaitu USV elektrik yang dilengkapi APM 2.5 dengan firmware arduover untuk sistem autopilot. Sistem autopilot pada USV meliputi mode Auto, manual, guided dan hold. Sebelum USV menjalankan misi, dilakukan pengujian-pengujian terhadap sensor-sensor yang dipakai. Kemudian pengujian perairan dilakukan dengan membuat 6 misi dengan letak waypoint yang berbeda sehingga USV dapat menuju titik waypoint yang diinginkan. Didapatkan eror radius rata-rata setiap waypoint sebesar 2,2 meter. USV ini juga dilengkapi dengan sistem FPV sehingga pemantauan dapat lebih mudah dilakukan dengan melihat kamera yang terpasang pada USV dan ditampilkan pada monitor 7" dengan bantuan video sender. K ata kunci — daerah perairan, *Unmanned Surface Vehicle (USV)*.

C. Kendali Otomatis

Sistem kendali otomatis atau biasa disebut *autopilot* merupakan suatu sistem elektrikal-mekanikal yang dapat menjalankan kendaraan secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Pada penelitian ini, sistem *autopilot* yang digunakan pada *boat* berbasis rangkaian mikrokontroler dan GPS untuk menyediakan data posisi *boat* secara *realtime* [10]–[12].

D. Waypoint Control

Waypoint merupakan sekumpulan koordinat yang mengidentifikasi titik tertentu dari suatu objek, sehingga dapat digunakan pada sistem navigasi sebagai penyedia data pergerakan posisinya [8], [13]. Teknik *waypoint control* dapat sangat bermanfaat jika ingin menuju tempat yang sulit dijangkau oleh manusia, karena dengan teknik



Gambar 3. Protoipe perangkat sistem kendali dan pelacakan pada mesin boat

ini operator hanya memasukkan atau menentukan titik koordinat acuan yang ingin dicapai oleh objek. Titik acuan yang digunakan dalam pengerjaan proyek akhir ini berupa titik kordinat *longitude* dan *latitude*.

E. Perancangan Mekanik

Sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat* dirancang menggunakan *body RC boat* FT-012 berukuran 47 cm x 12 cm x 25 cm dengan sedikit perubahan pada penutup atas *boat* dan tiang penyangga sensor kompas. Komponen modul GPS Neo-6M, sensor kompas HMC5883L, serta modul *bluetooth* HC-05 diletakan pada bagian paling atas *boat*. Hal ini bertujuan untuk menghindari sensor kompas dengan medan magnet yang terdapat pada *brushed* motor DC, dan juga untuk melindungi komponen dari rembesan air yang masuk ke dalam lambung *boat*. Penempatan sensor kompas di atas *boat* dikarenakan komponen tersebut bekerja dengan membaca medan magnet bumi, sehingga harus dijauhkan dari komponen yang memiliki sifat paramagnetic untuk memaksimalkan kinerja dari komponen sensor kompas itu sendiri. Gambar 3 menunjukkan rangkaian prototipe dari sistem kendali dan pelacak mesin *boat* pada penelitian ini.

Arduino Mega 2560 atau mikrokontroler yang berbasis sismis (sistem minimum) Atmega2560 [14]–[16] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Atmega2560 memiliki 54 *pin input-output digital*; 14 pin dapat digunakan sebagai keluaran PWM, 16 pin dapat digunakan sebagai masukan analog, 4 pin untuk UART (*port serial* perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, catu daya, header ICSP, dan tombol reset [10].

GPS merupakan perangkat navigasi yang dapat melacak keberadaan suatu objek berbasis satelit. Informasi yang diberikan oleh GPS adalah letak posisi objek di bumi berdasarkan garis lintang dan bujur [7]. Sistem GPS menggunakan protokol NMEA-0183 untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. Data yang dihasilkan dari protokol NMEA berbentuk kalimat (*string*) yang tiap karakternya berupa kode ASCII 8 bit. Jumlah karakter maksimum pada sebuah kalimat dari data yang dihasilkan oleh protokol NMEA adalah 82 [17], [18].

Pada Gambar 5, pin keluaran TX pada modul GPS dihubungkan dengan pin 16 (RX2) pada arduino mega dan pin keluaran RX pada modul GPS dihubungkan dengan pin 17 (TX2) pada arduino mega. Modul GPS Neo-6M



Gambar 4. Arduino Mega2560

menggunakan sistem komunikasi serial RX-TX untuk keluarannya.

HMC5883L merupakan sensor petunjuk arah mata angin, atau sering disebut juga sebagai kompas digital. IC HMC5883L bekerja dengan mengukur dan membaca kedua arah medan magnet bumi [19], [20] berbasis teknologi *anisotropic magneto-resistive* (AMR). Modul kompas HMC5883L menggunakan serial data (SDA) dan jalur sinkronisasi *clock* (SCL). Pada Gambar 6, Pin SCL PortC.0 pada modul kompas dihubungkan dengan pin 21 (SCL) pada arduino mega dan pin SDA PortC.1 pada modul kompas dihubungkan dengan pin 20 (SDA) pada arduino mega. Rangkaian pengkabelan modul kompas HMC5883L dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

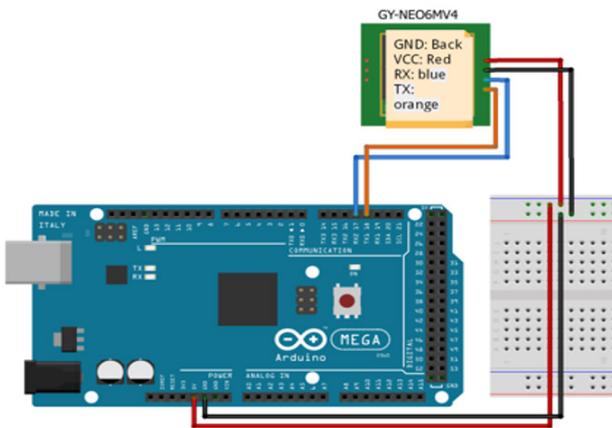
Rancangan sistem penggerak pada proyek akhir ini menggunakan *motor servo*, ESC, dan *brushed motor DC*. Fungsi dari *motor servo* yaitu sebagai sistem penggerak *ruder*, sehingga *boat* dapat bergerak ke arah kanan atau kiri. Fungsi dari ESC dan *brushed motor DC* digunakan sebagai

kendali kecepatan motor dan juga sebagai penggerak maju atau mundur dari *boat* itu sendiri. Rangkaian rancangan sistem penggerak dapat dilihat pada Gambar 7. koneksi antara sistem penggerak dengan arduino mega 2560 yang terhubung melalui pin-pin.

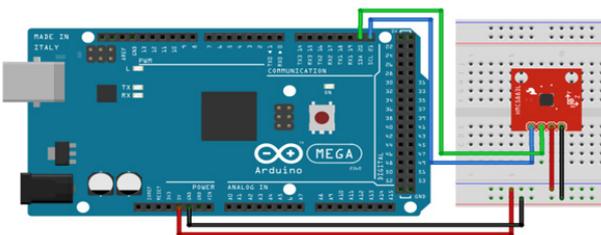
Pada Gambar 7, Pin D7 pada Arduino mega dihubungkan dengan pin *motor servo*, dan pin D6 pada arduino mega dihubungkan dengan pin ESC yang akan mengendalikan kecepatan *brushed motor DC*.

F. Perancangan Antar Muka Sistem Kendali dan Pelacakan pada Boat

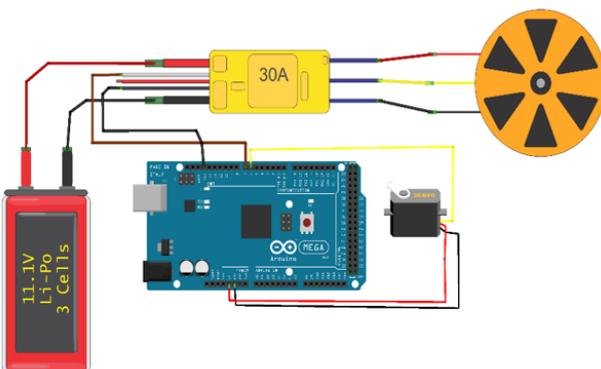
Pada penelitian ini, aplikasi sistem kendali dibuat menggunakan *platform* Mit APP *Invertor*. Pada tampilan halaman utama dari aplikasi tersebut terdapat *notification window* dan beberapa tombol utama yaitu, *connect* dan *disconnect bluetooth*, GPS & *Waypoint*, kendali manual, dan kompas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. *Notification window* berfungsi untuk menampilkan titik koordinat, arah *heading* kompas, dan juga perintah kendali. Pada tombol *connect* dan *disconnect bluetooth* berfungsi untuk menghubungkan perangkat *smartphone* dengan modul *bluetooth* pada *boat* sehingga aplikasi dan perangkat kendali utama saling terhubung. Pada tombol GPS & *waypoint*, berfungsi sebagai tombol untuk mengetahui letak titik kordinat *boat*, menentukan titik koordinat tujuan *boat*, dan juga dapat menghapus titik koordinat tujuan yang tidak digunakan lagi.



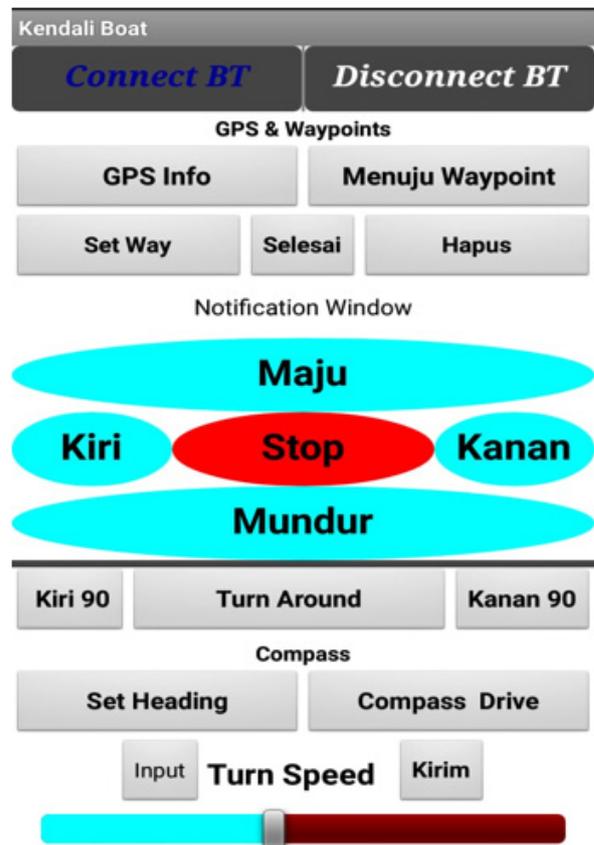
Gambar 5. Rangkaian pengkabelan modul GPS



Gambar 6. Rangkaian pengkabelan modul kompas HMC5883L



Gambar 7. Rangkaian pengkabelan modul sistem penggerak



Gambar 8. Tampilan antar muka aplikasi

Kemudian pada tombol kendali manual berfungsi sebagai sistem kendali untuk menggerakkan sistem penggerak maju, mundur, dan arah *boat* secara manual sehingga dapat membantu apabila kendali otomatis mengalami gangguan. Sedangkan tombol kompas berfungsi untuk menentukan arah *heading* kompas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Modul GPS Neo-6M

Pada bagian ini pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan modul GPS Neo-6M. Mekanisme pengujian dilakukan dengan cara mendapatkan nilai titik kordinat dengan sensor, lalu nilai yang didapatkan dibandingkan dengan pembacaan kordinat dari aplikasi *Google Earth* (GE) untuk membandingkan seberapa tepat pembacaan nilai titik kordinat hasil pembacaan modul dengan titik kordinat sebenarnya. Dalam pengujian Modul GPS dilakukan pada siang hari dengan cuaca cerah pada titik pengujian yang digunakan *latitude*: -6.979547 dan *longitude*: 107.631455. Hasil selisih pengukuran sensor dengan GE diasumsikan sebagai nilai *error* jarak (meter) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Dari 10 kali pengujian pada Tabel 1, dapat dilihat terdapat banyak data yang berubah nilai *latitude* dan *longitude* seperti pada Gambar 9. Hanya pada percobaan ke-9 yang paling mendekati nilai dari titik koordinat sebenarnya. Dengan berubahnya nilai tersebut seakan modul GPS bergerak dan berpindah tempat. Padahal

Tabel 1. Pengujian modul GPS Neo-6M

Data ke-	Latitude	Longitude	Error Jarak (meter)
1	-6.979573	107.631484	4.58
2	-6.979580	107.631477	4.61
3	-6.979575	107.631484	4.8
4	-6.979578	107.631469	3.92
5	-6.979576	107.631462	3.45
6	-6.979567	107.631469	2.82
7	-6.979563	107.631469	2.83
8	-6.979548	107.631477	2.53
9	-6.979547	107.631477	2.51
10	-6.979551	107.631484	3.34



Gambar 9. Pemetaan titik kordinat pengujian GPS pada *Google Earth*

dalam pengujian, modul GPS tidak berpindah tempat.

Hasil pembacaan nilai *longitude* dan *latitude* yang didapat, akan dipetakan pada aplikasi GE seperti terlihat pada Gambar 9. Dari hasil pemetaan dapat dilihat bahwa data ke-3 merupakan titik terjauh dari titik pengujian dengan jarak 4.75 meter, sedangkan data ke-9 merupakan titik terdekat dengan jarak 2.51 meter. Nilai *error* modul GPS yang dibaca dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya sangat dipengaruhi oleh seberapa banyak jumlah satelit yang memberi *feedback* ke modul GPS. Semakin banyak jumlah satelit yang memberi *feedback*, maka nilai *error* pembacaan titik koordinat akan semakin kecil. Selain faktor jumlah satelit, faktor cuaca juga menjadi faktor yang penting dalam penggunaan modul GPS. Faktor cuaca dapat menyebabkan atmosfer dan ionosfer pada permukaan bumi mengalami perubahan sehingga kecepatan sinyal GPS dalam membaca gelombang mikro dari satelit mengalami penurunan[21]. Perubahan tersebut akan mempengaruhi tingkat akurasi GPS dalam membaca titik kordinat, perhitungan jarak, serta *clock error*.

A. Pengujian Sensor Kompas HMC5883L

Pada penelitian ini, sensor yang digunakan sebagai sensor kompas merupakan jenis IC HMC5883L. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat tingkat akurasi sensor dalam membaca arah medan magnet bumi. Pada pengujian sensor kompas, mekanisme yang dilakukan yaitu dengan membaca 4 sudut medan magnet bumi yang dilakukan di dalam dan di luar ruangan. Keempat sudut yang digunakan yaitu, Utara 0°, Timur 90°, Selatan 180°, dan Barat 270°. Data dari pembacaan sensor kemudian akan dibandingkan dengan data dari sensor digital pada *smartphone* yang sudah mendukung pembacaan kompas. Pengujian di masing-masing sudut akan diambil sebanyak 10 data yang nantinya akan dilihat seberapa besar keakuratan dari sensor kompas yang digunakan. Data yang dihasilkan akan menggambarkan nilai akurasi serta tingkat presisi dari sensor kompas digital yang digunakan.

Tabel 2 menunjukkan data hasil pembacaan sensor kompas HMC5883L terhadap 4 sudut besar medan

Tabel 2. Hasil pembacaan sensor kompas HMC5883L

Data Ke-	Hasil Pembacaan Sudut Kompas (°)			
	Utara (0°)	Timur (90°)	Selatan (180°)	Barat (270°)
1	2	92	181	267
2	9	96	187	272
3	11	96	185	274
4	20	97	187	276
5	20	95	187	268
6	10	96	188	272
7	9	97	186	277
8	15	96	184	276
9	8	84	185	275
10	7	94	186	273

magnet bumi yang dilakukan di dalam ruangan. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa *error* terbesar terjadi pada sudut 0° dengan nilai *error* pembacaan 20°, sedangkan *error* terkecil terjadi pada sudut 180° dengan nilai *error* pembacaan 181°. Rata-rata hasil pembacaan sudut kompas berdasarkan pengujian pada Tabel 2, disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor kompas HMC5883L yang dilakukan di dalam ruangan memiliki rata-rata nilai *error* pembacaan sebesar 6°. Rata-rata *error* pembacaan terbesar terdapat pada sudut 0° dengan nilai *error* 11.1°, sedangkan rata-rata *error* pembacaan terkecil terdapat pada sudut 270° dengan nilai *error* 3°. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari sensor kompas digital sehingga menghasilkan nilai *error* yang cukup besar, salah satunya yaitu letak dari penempatan sensor itu sendiri. Sensor kompas digital memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap benda yang memiliki sifat paramagnetik. Jika sensor ini diletakan berdekatan dengan benda yang memiliki sifat paramagnetik, maka pembacaan nilai dari sensor akan berubah dari nilai yang seharusnya.

B. Pengujian Konektivitas Sistem Kendali dengan Aplikasi

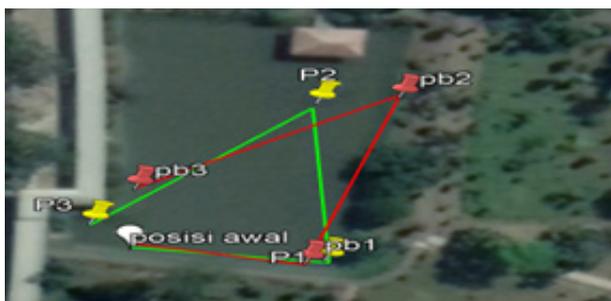
Pengujian konektivitas dilakukan untuk mengetahui konektivitas aplikasi dengan sistem kendali serta mengetahui seberapa jauh jangkauan koneksi yang dapat dijangkau modul *bluetooth* HC-05. Pada proses pengujian koneksi *Bluetooth* seperti pada Tabel 4, mekanisme yang dilakukan adalah melakukan percobaan kendali *boat* dengan jarak maksimum koneksi 20 meter.

C. Pengujian Sistem Navigasi Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat

Tabel 3. Rata-rata hasil pembacaan sudut kompas

No	Sudut (°)	Rata-rata hasil Pembacaan (°)	Error (°)
1	0°	11.1	11.1
2	90°	95.3	5.3
3	180°	184.6	4.6
4	270°	273	3
Rata-rata <i>error</i>			6



Gambar 10. Pengujian di kolam GKU Telkom University

akurasi sistem navigasi otomatis berbasis *waypoint* pada pergerakan *boat* untuk mencapai posisi titik tujuan. Pada penelitian ini dilakukan 2 kali percobaan di tempat yang berbeda, yaitu 3 titik di kolam GKU Telkom University (Tabel 5) dan 4 titik di danau Telkom University sebagai posisi tujuan (Tabel 6). Seluruh posisi awal-tujuan (*end to end*) pada total 7 titik telah diinisialisasi menggunakan aplikasi pada *smartphone*.

Tabel 5 di atas menunjukkan nilai *error* antara lokasi yang terdeteksi oleh sensor (garis merah) dengan nilai GPS sebenarnya (garis hijau) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada Tabel 5 dan Gambar 9 di atas, dapat dilihat bahwa *error* jarak terbesar terdapat pada percobaan ke-3 pada titik 2 dengan *error* sejauh 10.8 meter dan *error* terkecil terdapat pada percobaan ke-1 pada titik 1 dengan *error* sejauh 5.2 meter. Sedangkan hasil pengujian sistem navigasi di danau Telkom University ditunjukkan pada Tabel 6, dengan hasil selisih atau *error* GPS diperlihatkan pada Gambar 11.

Pada Tabel 6 dan Gambar 10, dapat disimpulkan bahwa *error* jarak terbesar terdapat pada pengujian ke-2 pada titik tujuan 4 dengan kesalahan sejauh 7.02 meter. Sedangkan untuk kesalahan minimum terdapat pada pengujian ke-3 pada titik tujuan 2 dengan nilai kesalahan sejauh 4.7 meter.

Tabel 4. Pengujian konektivitas aplikasi

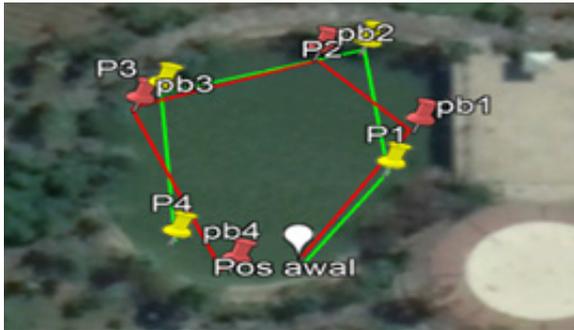
No	Jarak (meter)	Status
1.	1	Koneksi Stabil
2.	4	Koneksi Stabil
3.	8	Koneksi Stabil
4.	10	Koneksi Stabil
5.	12	Koneksi Stabil
6.	15	Koneksi Terputus

Tabel 5. Pengujian sistem navigasi di kolam GKU

Posisi tujuan	Kesalahan/error (meter)		
	Pengujian tujuan ke-		
	1	2	3
P1	5.2	9.8	8.4
P2	4.11	9.4	7.55
P3	6.12	10.8	8.1
Rata-rata <i>error</i>	5.14	10	8.01

Tabel 6. Pengujian sistem navigasi di danau Telkom University

Posisi Tujuan	Kesalahan/error (meter)			
	Pengujian tujuan ke-			
	1	2	3	4
P1	6.4	5.2	4.41	6.8
P2	6.21	4.8	4.8	7.02
P3	5.9	4.7	5.2	6.44
P4	6.1	4.7	5.3	6.6
Rata-rata <i>error</i>	6.15	4.85	4.9	6.71



Gambar 11. Pengujian di danau Telkom University

Kesalahan pengujian di danau Telkom University ini masih di bawah kesalahan pengujian yang dilakukan di kolam GKU pada Tabel 6, yaitu 10.8 meter. Nilai tersebut lebih buruk dari nilai threshold yang diharapkan yaitu 5 meter. Rata-rata kesalahan diakibatkan oleh lemahnya sensitivitas GPS terhadap perubahan posisi serta pembacaan kompas yang memiliki *error* rata-rata 11° sehingga sistem belum dapat menghasilkan data posisi secara akurat.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah disimulasikan suatu sistem navigasi otomatis berbasis *waypoint control* dengan menggunakan modul GPS Neo-6M dan modul kompas menggunakan IC HMC5883L. Berdasarkan eksperimental yang telah dilakukan pembacaan titik koordinat dari modul GPS Neo-6M terjauh adalah 4.8 meter. Pembacaan sensor kompas HMC5883L memiliki *error* pembacaan rata-rata 6° dengan nilai *error* terbesar 11.1° . Perangkat kendali yang dirancang pada *boat* berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan pengujian sistem kendali manual dan perangkat sistem kendali mencapai 100%. Jarak maksimal yang mampu dicapai oleh modul *bluetooth* HC-05 untuk saling terkoneksi dengan aplikasi sejauh 12 meter dalam keadaan LOS (*Line of Sight*). Sistem navigasi otomatis (*waypoint*) mampu mengontrol pergerakan *boat* dalam mencapai posisi tujuan, namun masih memiliki *error* maksimal hingga 10.8 meter. Sehingga masih harus dilakukan penelitian lanjutan pada sistem untuk meminimalisasi tingkat *error* yang diperoleh.

REFERENSI

- [1] Z. L. Szipak and J. R. Tapamo, "Maritime surveillance: Tracking ships inside a dynamic background using a fast level-set," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 6, pp. 6669–6680, 2011.
- [2] K. D. Schwehr and P. A. McGillivray, "Marine ship automatic identification system (AIS) for enhanced coastal security capabilities: An oil spill tracking application," in *Proc. Ocean. Conf. Rec.*, 2007.
- [3] L. P. Perera, P. Oliveira, and C. Guedes Soares, "maritime traffic monitoring based on vessel detection, tracking, state estimation, and trajectory prediction," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 13, no. 3, pp. 1188–1200, Sep. 2012.
- [4] V. No, D. Liani, and A. Silvia, "Sistem navigasi pada mobile robot dengan global positioning system (GPS)," *Annu. Res. Semin.* 2016, vol. 2, no. 1, pp. 373–376, Dec. 2016.
- [5] M. S. Sulila, S. Sumardi, and M. A. Riyadi, "Perancangan sistem kontrol navigasi bearing pada quadcopter dengan metode PID (Proportional, Integral, Derivative) self tuning PSO (Particle Swarm Optimization)," *TRANSIENT*, vol. 6, no. 3, p. 323, Nov. 2017.
- [6] I. F. Ammarprawira, M. S. Fauzi, A. A. Arbi Abdul Jabbaar, and N. Syafitri, "Implementasi automatic waypoint untuk return trip pada autonomous robot dengan titik acuan potensi korban bencana," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 1, p. 203, Jan. 2020.
- [7] M. Zaky, A. Mufti, and A. Rahman, "Perancangan sistem kendali berbasis GPS (Global Positioning System) pada kapal tanpa awak," *Karya Ilm. Mhs. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [8] A. S. Taufik, "Sistem navigasi waypoint pada autonomous mobile robot," *J. Mhs. TEUB*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [9] M. J. J. Suja, S. R. Sulistiyanti, and M. Komarudin, "Sistem navigasi pada unmanned surface vehicle untuk pemantauan daerah perairan," *Electrician*, vol. 11, no. 1, pp. 32–43, 2017.
- [10] K. Priohutomo, A. A. Masroeri, and C. Permana, "Perancangan kendali manuver untuk menghindari tabrakan pada kapal patroli cepat berbasis pengujian model," *Kapal*, vol. 14, no. 3, p. 71, Nov. 2017.
- [11] P. Agung and S. Sudjadi, "Perancangan alat pengaman dan tracking kendaraan sepeda motor dengan menggunakan mikrokontroler Atmega644Pa," *Transient*, vol. 3, no. 9, 2014.
- [12] B. C. S. Putro, A. F. Rochim, and E. D. Widiyanto, "Rancang bangun purwarupa sistem navigasi tanpa awak untuk kapal," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 1, Jan. 2016.
- [13] R. Prakoso, P. Pangaribuan, and A. S. Wibowo, "Perancangan sistem kendali mobile robot dengan gps menggunakan metode pid," vol. 5, no. 3, pp. 4128–4135, 2018.
- [14] A. B. Muljono, I. M. A. Nrartha, I. M. Ginarsa, and I. M. B. Sukmadana, "Rancang Bangun smart energy meter berbasis UNO dan Raspberry Pi," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 1, pp. 9–18, Apr. 2018.
- [15] A. B. Prasetijo, M. Y. Dias, and D. Eridani, "Rancang bangun alat penerjemah asl (american sign language) dengan sensor flex berbasis mikrokontroler ATmega2560," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 1, pp. 75–82, 2018.
- [16] N. Salim Abdullah, Erwin, "Rancang bangun kestabilan laju robot kapal selam berbasis mikrokontroler," *Openlibrary. Telkomuniversity.Ac.Id*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [17] A. Goeritno and M. Y. Afandi, "Modul elektronika berbasis mikrokontroler sebagai sistem pengaman pada mobil terintegrasi dengan engine immobilizer," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 2, Sep. 2019.
- [18] M. T. Sholehati and A. Goeritno, "Sistem minimum berbasis mikrokontroler atmega2560 sebagai sistem pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 3, 2018.
- [19] J. Rahimatullah, N. R. S. Muda, M. I. Fahmi, and Z. Akbari, "Rancang bangun autonomous robot tank dengan metode waypoint berbasis Raspberry Pi," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 29–39, May 2020.
- [20] A. R. Putri, P. Nurrahayu, and A. Anas, "Robot navigation control system using Hmc5883L," *JAREE-Journal Adv. Res. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 61–66, 2019.
- [21] A. Hanafi, "Sistem keamanan kendaraan bermotor menggunakan GPS berbasis SMS gateway," *J. Ilm. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 6, pp. 1647–1654, 2015.