

RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* SISTEM KENDALI DAN *TRACKING* PADA MESIN *BOAT*

Prototype Design of Control and Tracking Systems on Boat Engine

Rizky Edi Saputra¹, Suci Aulia, S.T., M.T.², Syahban Rangkuti, S.ST., M.T.³

^{1,2,3} Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹rizkyedisaputra@student.telkomuniversity.ac.id, ²sucia@tass.telkomuniversity.ac.id, ³syahkti@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan lebih dari 70% wilayahnya terdiri dari perairan dan aliran sungai yang melimpah. Karena kondisi geografis tersebut, banyak dari masyarakat Indonesia yang masih menggantungkan transportasi air sebagai sarana transportasi utama penyebrangan. Namun banyak dari transportasi penyebrangan di Indonesia masih menggunakan sistem kendali manual dengan dibantu tenaga manusia untuk mengendalikan titik arah tujuan dari *boat*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dirancang sebuah *prototype* sistem kendali dan *tracking* 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. Pada perancangan sistem kendali dan *tracking*, Sistem kendali ini dirancang dengan sistem elektrik kendali yang memanfaatkan mikrokontroler, modul GPS dan modul *magnetic* kompas sebagai perangkat kendali navigasi. Selain dapat dikendalikan secara otomatis, *boat* sendiri dapat dikendalikan secara manual lewat sebuah aplikasi yang saling terhubung dengan media komunikasi bluetooth.

Pada tahap uji coba, dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang telah terpasang pada *smartphone* sebagai pengendali manual *boat* dan tampilan informasi pembacaan dari sistem. Berdasarkan pengujian pembacaan koordinat, tingkat akurasi GPS didapatkan tingkat akurasi sebesar sejauh 4.8 meter. Berdasarkan pengujian sensor kompas, didapatkan *error* pembacaan rata-rata 6° dengan nilai *error* terbesar 11.1°. Berdasarkan pengujian sistem navigasi (*waypoint*), didapatkan tingkat akurasi sistem sejauh 10,8 meter. Jarak komunikasi bluetooth dalam berkomunikasi sejauh 12 meter.

Kata kunci : Navigasi, *Waypoint control*, Mikrokontroler, GPS, Kompas.

Abstract

Indonesia is an archipelago with more than 70% of its territory consisting of abundant waters and rivers. Because of these geographical conditions, many Indonesian people still depend on water transportation as the main means of crossing transportation. However, many of the crossing transportation in Indonesia still uses a manual control system with the help of human labor to control the destination point of the boat.

Based on these problems, a prototype of the control and tracking system on the boat engine can be used as an automatic control system (*autopilot*) in water transportation. This system is designed using a *waypoint control* system that can navigate automatically to a predetermined location. In the design of control and tracking systems, this control system is designed with an electric control system that utilizes a microcontroller, GPS module and magnetic compass module as a navigation control device. Besides being able to be controlled automatically, the boat itself can be controlled manually through an application that is interconnected with bluetooth communication media.

In the trial phase, it is done by using an application that is installed on the smartphone as a manual boat controller and displaying the reading information from the system. Based on the coordinates reading test, the GPS accuracy level is obtained as far as 4.8 meters. Based on compass sensor testing, an average reading error of 6 ° is obtained with the largest error value being 11.1 °. Based on testing the navigation system (*waypoint*), the accuracy of the system as far as 10.8 meters is obtained. Bluetooth communication distance in communicating as far as 12 meters.

Keyword : *Navigation, Waypoint Control, Microcontroller, GPS, Compass.*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan lebih dari 70% wilayahnya terdiri dari perairan dan aliran sungai yang melimpah. Karena kondisi geografis tersebut, banyak dari masyarakat Indonesia yang masih menggantungkan transportasi air sebagai sarana transportasi utama penyebrangan. Namun banyak dari transportasi penyebrangan di Indonesia masih menggunakan sistem kendali manual dengan dibantu tenaga manusia untuk mengendalikan titik arah tujuan dari kapal atau *boat* tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut munculah ide untuk mengembangkan *prototype* sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat* yang dapat digunakan sebagai sistem kendali otomatis (*autopilot*) pada transportasi air. Kendali *autopilot* merupakan hal yang sangat lumrah di era teknologi dan komunikasi yang terus berkembang ini [14]. Tugas manusia semakin terbantu dengan hadirnya teknologi kendali otomatis. Dengan adanya teknologi kendali otomatis pada kapal tanpa awak, maka kapal atau *boat* tersebut diharapkan dapat membantu tugas manusia dalam melakukan tugasnya.

Pada proyek akhir ini telah dirancang sebuah *prototype* sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat* yang dapat dikendalikan secara otomatis atau berpindah secara mandiri. Supaya dapat dikendalikan otomatis, *boat* harus memiliki sistem navigasi. Fungsi sistem navigasi sendiri sebagai alat pemandu *boat* agar dapat berpindah tempat [7]. Sistem navigasi yang digunakan pada proyek akhir ini menggunakan sistem *waypoint control*. *Waypoint* adalah istilah dalam GPS untuk suatu lokasi yang telah ditandai yang terdiri dari koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) [8].

Pada perancangan sistem kendali dan *tracking*, sistem kendali ini dirancang dengan sistem elektrik kendali yang memanfaatkan mikrokontroler, modul GPS dan modul *magnetic* kompas sebagai perangkat kendali navigasi. Perangkat sistem navigasi pada proyek akhir ini menggunakan modul GPS sebagai penentu posisi dan modul *magnetic* kompas sebagai penentu arah dari *boat* [2]. Data dari kedua modul tersebut diproses oleh Arduino mega 2560 sebagai kendali dan pemrosesan utama. Dengan data masukan yang berasal dari modul GPS dan *magnetic* kompas, mikrokontroler akan memproses data sehingga sistem penggerak pada *boat* dapat bergerak secara mandiri sesuai dengan data masukan. Data yang digunakan pada program GPS ini adalah data *setting* dan data *realtime*, dimana data *setting* adalah data lokasi tujuan *boat* berhenti dan data *realtime* adalah data posisi *boat* yang sebenarnya. Selain dapat dikendalikan secara otomatis, *boat* sendiri dapat dikendalikan secara manual lewat sebuah aplikasi yang saling terhubung dengan media komunikasi bluetooth.

2. Dasar Teori

2.1 Navigasi

Navigasi adalah ilmu pengetahuan dalam menentukan posisi kapal di laut dengan mengemudikan (steering) kapal secara aman dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem navigasi biasanya terdiri dari beberapa perangkat digital maupun analog, untuk yang analog biasanya dilengkapi dengan kompas analog yang dapat mengetahui arah mata angin yang berguna sebagai acuan arah kapal, untuk perangkat digital sudah terdapat GPS atau Global Positioning System yaitu sebuah perangkat yang dapat menerima lokasi keberadaan kapal dengan mengacu pada satelit yang bergerak mengitari bumi [5]. Navigasi dan kendali dari sebuah kendaraan otonom merupakan tugas yang sangat kompleks. Untuk membuat kendaraan mampu berjalan tanpa awak atau biasa disebut dengan *autopilot* membutuhkan pengetahuan teoritikal dan praktikal tentang navigasi [3].

2.2 Sistem Kendali Otomatis

Sistem kendali otomatis atau biasa disebut *Autopilot* adalah sebuah sistem mekanikal, elektrikal, atau hidrolis yang memandu sebuah kendaraan tanpa campur tangan dari manusia. Umumnya *autopilot* dihubungkan dengan pesawat, tetapi pada saat sekarang ini *autopilot* juga banyak digunakan di *boat* dengan istilah yang sama. Pada sistem tersebut, sistem kendali *autopilot* dikendalikan oleh rangkaian mikrokontroler dan GPS yang mempunyai fungsi menyediakan data secara realtime setiap waktunya, sehingga memudahkan estimasi posisi, kecepatan, dan juga attitude benda bergerak. Dengan kata lain, kedua sistem tersebut mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem *autopilot* itu sendiri [14].

2.3 Waypoint control

Sistem navigasi otomatis yang banyak diimplementasikan pada mobile robot dapat diartikan sebagai suatu kemampuan untuk memandu pergerakan dari suatu posisi ke posisi lain yang dituju melalui penentuan posisi

dan arah gerakannya[2]. Dalam pembuatan sistem kendali dan *tracking* pada *boat* ini, sistem navigasi yang digunakan adalah *waypoint control*. *Waypoint control* dapat diartikan dengan suatu sistem pergerakan titik dari kordinat titik awal terhadap titik acuan pada bidang XY[11]. Teknik *waypoint control* dapat sangat bermanfaat jika ingin menuju tempat yang sulit dijangkau oleh manusia, karena dengan teknik ini operator hanya memasukan atau menentukan titik kordinat acuan yang ingin dicapai oleh objek. Titik acuan yang digunakan dalam pengerjaan proyek akhir ini berupa titik kordinat *longitude* dan *latitude*.

2.4 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah *board* mikrokontroler berbasis Atmega2560. Mempunyai 54 *pin* i/o digital (14 *pin* dapat digunakan sebagai keluaran PWM) yang dapat memberikan banyak ruang dan peluang bagi proyek yang akan dikerjakan, 16 masukan analog, 4 UART (*port serial* perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, catu daya, *header* ICSP, dan tombol reset[10]. Secara umum, Arduino Mega 2560 adalah rangkaian sistem minimum Atmega2560 yang sudah dimodifikasi bersama dengan *downloader* dan memiliki *compiler* C yang sudah terintegrasi dengan berbagai macam *library*. Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip* mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel[9].

2.5 Modul GPS Neo-6M

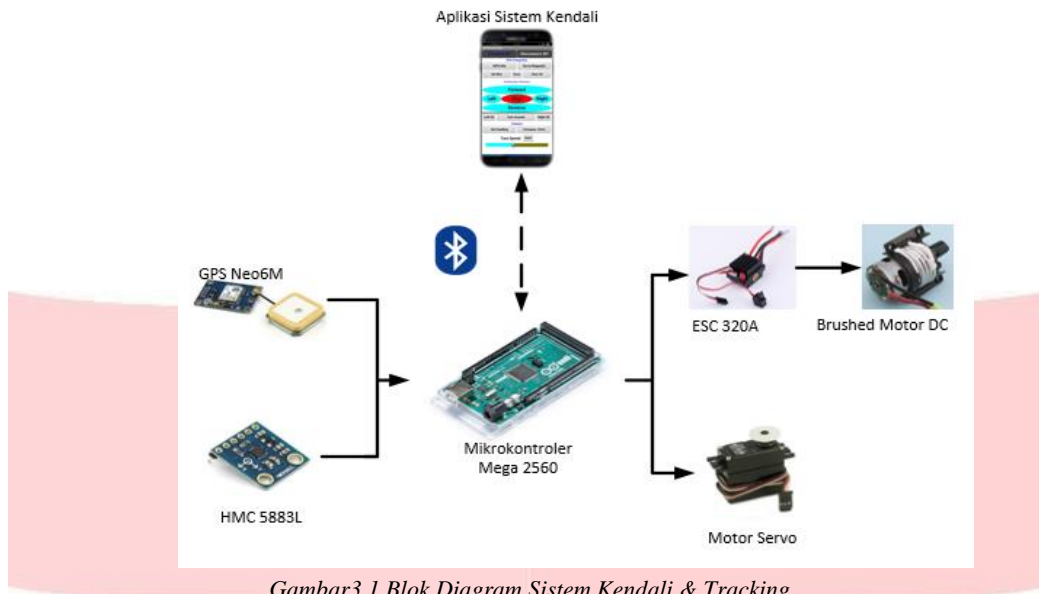
GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem navigasi satelit untuk menentukan letak posisi di bumi. Sistem GPS memanfaatkan satelit yang berada di orbit bumi, satelit yang memancarkan sinyal ke bumi akan ditangkap dan diolah oleh modul GPS. . GPS dapat beroperasi selama 24 jam dan dapat digunakan di seluruh wilayah muka bumi ini, karena GPS menggunakan satelit yang selalu mengorbitkan pada bumi selama 24 jam[8]. 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. Setiap kalimat dari data yang dihasilkan dari protokol NMEA diawali karakter '\$', dua karakter Talker ID, tiga karakter Sentence ID, dan diikuti oleh data field yang masing-masing dipisahkan oleh tanda koma (,) serta diakhiri oleh optional checksum dan karakter carriage return/line feed (CR/LF). Jumlah karakter maksimum pada sebuah kalimat dari data yang dihasilkan oleh protokol NMEA adalah 82. Format dasar NMEA 0183 : \$aaccc,c---c*hh<CR><LF>. Dimana aa merupakan Talker ID, ccc merupakan Sentence ID, c---c merupakan data field, hh merupakan optional checksum, <CR><LF> merupakan carriage return/line feed[13].

2.6 Kompas HMC5883L

HMC5883L adalah sebuah sensor yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin, atau bisa juga disebut sebagai kompas digital. DT-Sense 3 Axis Compass adalah modul sensor medan magnet yang menggunakan IC hmc5883l. IC hmc5883l adalah chip yang dirancang untuk membaca medan magnet yang cocok untuk aplikasi arah dan magnetometri[1]. HMC5883L sendiri menggunakan teknologi *anisotropic magneto-resistive (AMR)*, HMC5883L menyediakan kepresisian lebih pada sensitifitas dan linieritas sumbu dan dirancang untuk mengukur kedua arah dan medan magnet bumi. Port I2C ini adalah port I/O dari sensor ini, jika dihubungkan ke port mikrokontroler maka dihubungkan ke PortC.0 (SCL) dan PortC.1 (SDA)[7].

3. Perancangan Sistem

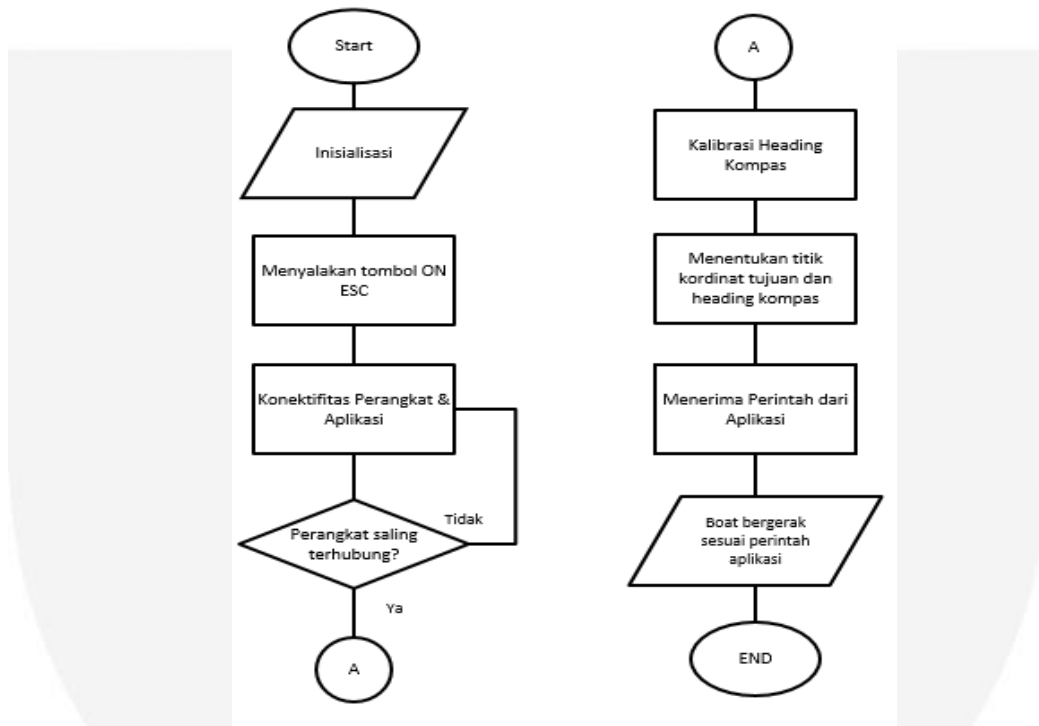
Pada penelitian ini telah dibuat sebuah *prototype* sistem kendali dan tracking yang akan diimplementasikan pada sebuah *RC Boat* menggunakan mikrokontroler dan media komunikasi bluetooth. Sistem kendali yang telah dibuat dilengkapi dengan sensor Kompas, modul GPS, modul *Bluetooth*, modul ESC, *Motor Servo*, dan juga *Brushed motor dc* sebagai komponen untuk membuat *boat* bergerak, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Fungsi dari sensor kompas sendiri untuk mengetahui dimana arah robot menghadap dan posisi sudut target tujuan. fungsi dari modul GPS adalah untuk mengetahui dimana lokasi dari *boat* serta titik kordinat tujuan. Modul Bluetooth sendiri digunakan sebagai media komunikasi dari sistem kendali pada smartphone dengan perangkat mikrokontroler sebagai kendali utama dari beberapa komponen yang digunakan. Fungsi motor servo sendiri digunakan untuk menggerakkan *rudder* dari *boat*, sehingga *boat* dapat bergerak menuju arah titik tujuan.



Gambar3.1 Blok Diagram Sistem Kendali & Tracking

3.1 Diagram Alir Sistem Kendali dan Tracking

Pada proses pengerjaan sistem kendali dan *tracking* ini memiliki sistem kerja keseluruhan dari perangkat seperti pada gambar 3.2 berikut:

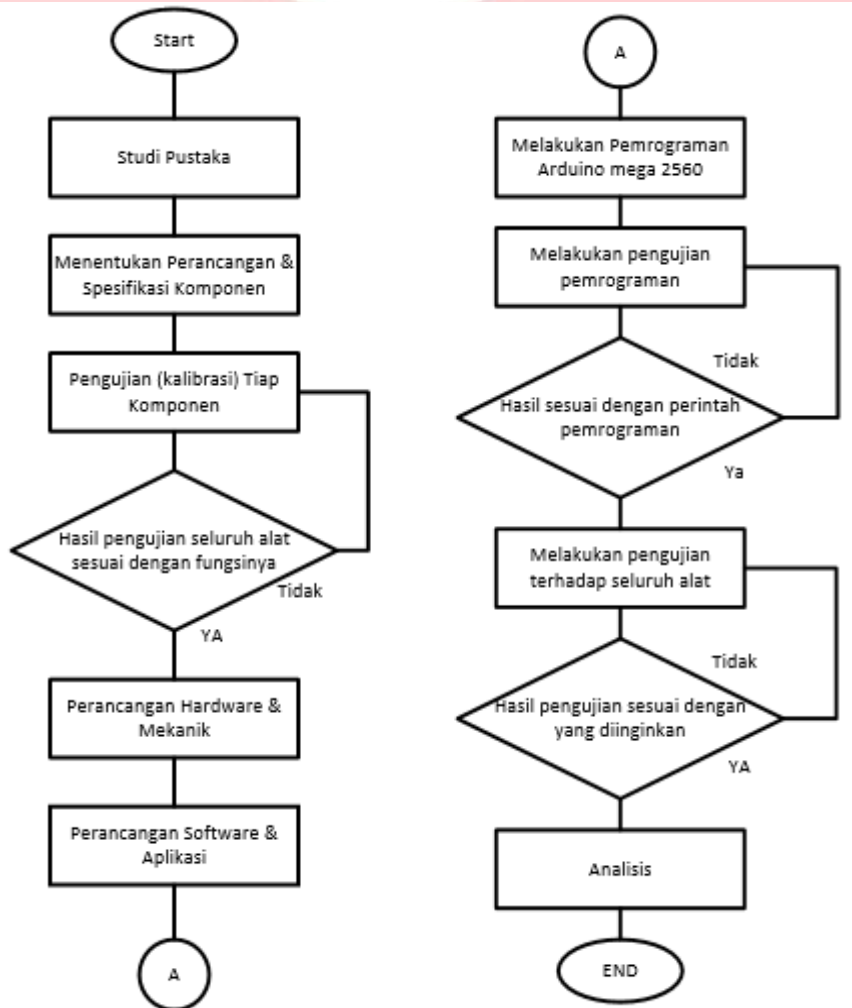


Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem Kendlai dan Tracking

Pada Gambar 3.2 dari sistem kendali dan *tracking*, Untuk menggunakan *prototype* sistem kendali dan tracking ini, yang harus dilakukan pertama kali adalah inisialisasi untuk mengaktifkan semua variable yang telah dimasukan pada program. Setelah itu user akan menyalakan tombol on yang terdapat pada *boat* untuk mengaktifkan perangkat ESC yang digunakan sebagai pengendali kecepatan dari motor yang digunakan. Setelah keseluruhan perangkat telah aktif, Kemudian user akan mengkoneksikan aplikasi sistem kendali pada smartphone dengan perangkat mikrkontroler dengan bantuan media komunikasi bluetooth pada smartphone dan modul HC-

05 pada perangkat *hardware*. Jika perangkat mikrokontroler belum terkoneksi dengan aplikasi maka akan dilakukan proses koneksi kembali. Setelah seluruh perangkat terhubung, user akan memutar *boat* 360 derajat untuk melakukan kalibrasi heading kompas. Kemudian user akan menentukan titik kordinat tujuan dan heading dari kompas. Setelah itu *boat* akan bergerak sesuai perintah pada sistem kendali yang terdapat pada smartphone.

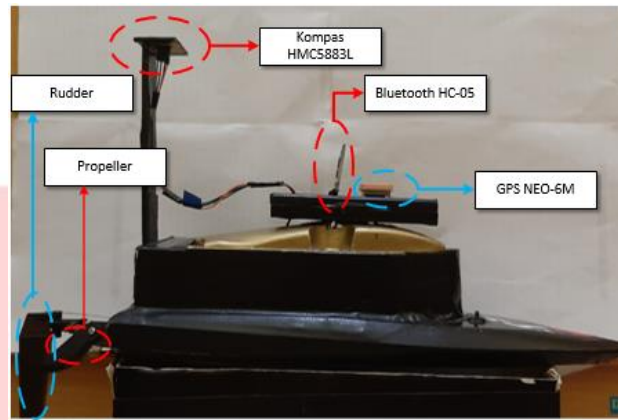
3.2 Perancangan Sistem Kendali dan Tracking



Gambar 3.3 Perancangan Simulator

3.2.1 Perancangan Mekanik

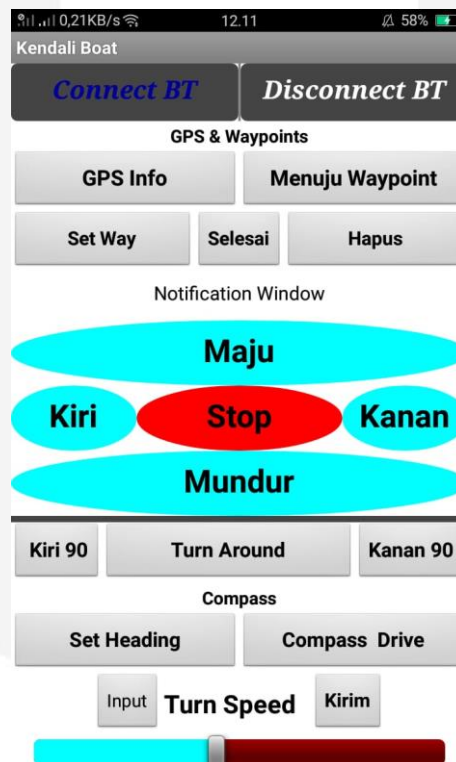
Sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat* dirancang menggunakan *body RC boat FT-012* berukuran 47 cm x 12cm x 25 cm dengan sedikit ubahan pada penutup atas *boat* dan tiang penyangga sensor kompas. Komponen modul GPS Neo-6M, sensor kompas HMC5883L, serta modul bluetooth HC-05 diletakan dipaling atas *boat*. Hal ini bertujuan untuk menghindari sensor kompas dengan medan magnet yang terdapat pada *brushed* motor dc, dan juga untuk menghindarkan komponen dari rembesan air yang masuk ke dalam lambung *boat*. Penempatan sensor kompas diatas *boat* dikarenakan komponen tersebut bekerja dengan membaca medan magnet bumi, sehingga harus dijauhkan dari komponen yang memiliki sifat paramagnetik untuk memaksimalkan kinerja dari komponen sensor kompas itu sendiri.



Gambar3. 4Tampak samping boat

3.2.2 Perancangan Antar muka Sistem Kendali dan *Tracking*

Pada perancangan 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 compass. *Notification window* berfungsi untuk menampilkan titik kordinat, 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 kordinat tujuan *boat*, dan juga dapat menghapus titik kordinat tujuan yang tidak digunakan lagi. 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.



Gambar3. 11 Tampilan Antar muka aplikasi

4. Analisa

4.1 Pengujian Modul GPS

Mekanisme pengujian dilakukan dengan cara mendapatkan nilai titik kordinat dengan sensor, lalu nilai yang didapatkan dibandingkan dengan pembacaan kordinat dari aplikasi *google earth* untuk membandingkan seberapa tepat pembacaan nilai titik kordinat hasil pembacaan modul dengan titik kordinat sebenarnya. Dalam pengujian Modul GPS dilakukan pada siang hari, malam hari, serta pada cuaca berawan. Untuk titik pengujian yang digunakan pada pengujian siang hari adalah sebagai berikut:

Latitude : -6.979547

Longitude : 107.631455

Tabel 4. 1 Pengujian Modul GPS

Data ke-	Latitude	Longitude	Error Jarak(M)
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

Hasil pembacaan nilai longitude dan nilai latitude yang didapat, akan dipetakan pada aplikasi *google earth*. 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. Untuk pengujian yang dilakukan pada cuaca berawan didapatkan bahwa error jarak terdekat pembacaan titik kordinat modul GPS yang dilakukan pada cuaca berawan sebesar 8.14 meter, sedangkan untuk error jarak terjauh sebesar 17.14 meter. Untuk pengujian yang dilakukan pada malam hari didapatkan bahwa error jarak terdekat pembacaan titik kordinat modul GPS yang dilakukan pada malam hari sebesar 7.8 meter, sedangkan untuk error jarak terjauh sebesar 11.35 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 kordinat 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. Perubahan tersebut akan mempengaruhi tingkat akurasi GPS dalam membaca titik kordinat, perhitungan jarak, serta *clock error*.

4.2 Pengujian Sensor Kompas

Tabel 4. 2 Rata-rata hasil pembacaan sudut sensor kompas (Didalam Ruangan)

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 error			6

Pada tabel 4.2 diatas, didapat nilai rata-rata error sudut hasil pembacaan sebesar 6° dengan nilai rata-rata error sudut terbesar 11.1° pada sudut 0° (utara), sedangkan error sudut terkecil 3° pada sudut 270° (barat)..

Tabel 4. 3 Rata-rata hasil pembacaan sudut sensor kompas (Diluar Ruangn)

No	Sudut($^\circ$)	Rata-rata hasil Pembacaan ($^\circ$)	Error($^\circ$)
1	0°	3.7	3.7
2	90°	93.7	3.7
3	180°	182.7	2.7
4	270°	277	7
Rata-rata error			4.3

Pada tabel 4.3 diatas, dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor kompas HMC5883L yang dilakukan diluar ruangan memiliki rata-rata nilai error pembacaan sebesar 4.3° . Rata-rata error pembacaan terbesar terdapat pada sudut 270° dengan nilai error 7° , sedangkan rata-rata error pembacaan terkecil terdapat pada sudut 0° dan 90° dengan nilai error 3.7° .

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 seharusnya

4.1. 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*, mekanisme yang dilakukan adalah melakukan percobaan kendali *boat* dengan jarak maksimum koneksi 20 meter.

Tabel 4. 4 pengujian *Konektivitas* aplikasi

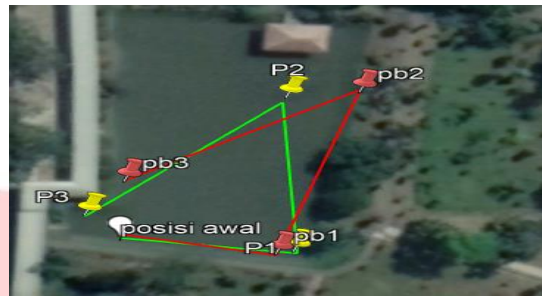
No	Jarak (Meter)	Status
1.	1	Koneksi Stabil
2.	4	Koneksi Stabil
3.	8	Koneksi Stabil
4.	10	Koneksi Stabil
5.	12	Koneksi Stabil
6.	15	Koneksi Terputus

4.3 Pengujian Sistem Navigasi

Pengujian bertujuan untuk mengetahui akurasi sistem navigasi otomatis (*waypoint*) dalam mengatur gerak *boat* mencapai posisi titik tujuan. Dalam pengujian sistem tersebut dilakukan 3 kali percobaan di tempat yang berbeda dengan diberikan 3 sampai 4 titik kordinat sebagai posisi tujuan. Seluruh posisi tujuan dan posisi awal telah ditentukan menggunakan aplikasi sistem yang terdapat pada *smartphone*.

Tabel 4. 5 pengujian sistem navigasi di kolam *JKU*

Posisi Tujuan	Kesalahan/error (Meter)		
	Pengujian Ke-		
	1 (T1)	2 (T2)	3 (T3)
P1	5.2	9.8	8.4
P2	4.11	9.4	7.55
P3	6.12	10.8	8.1
Rata-rata Error	5.14	10	8.01

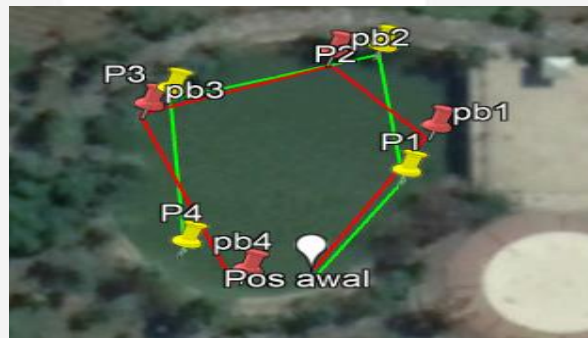


Gambar4.1 Pengujian di kolam GKU

Pada tabel 4.9 dan gambar 4.6 diatas, 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.

Tabel 4. 10 pengujian sistem navigasi di danau telkom university

Posisi Tujuan	Kesalahan/error (Meter)			
	Pengujian Ke-			
	1 (T1)	2 (T2)	3 (T3)	4(T4)
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 error	6.15	4.85	4.9	6.71



Gambar4. 2 Pengujian di danau telkom university

Pada tabel 4.6 dan gambar 4.2 diatas, dapat disimpulkan bahwa *error* jarak terbesar terdapat pada pengujian ke 2 pada titik tujuan 4 dengan kesalahan sejauh 7.02 meter. Sedangkan untuk kesalahan terdekat terdapat pada pengujian ke 3 pada titik tujuan 2 dengan nilai kesalahan sejauh 4.7 meter.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kesalahan terbesar adalah 10.8 meter. Melalui pengujian tersebut dapat ditentukan akurasi dari sistem navigasi yakni sebesar 10.8 meter. Nilai tersebut lebih buruk dari nilai yang diharapkan yakni sebesar 5 meter. Kesalahan terbesar diakibatkan oleh rendahnya akurasi dan lemahnya sensitivitas GPS terhadap perubahan posisi serta pembacaan kompas yang memiliki *error* rata-rata 11° sehingga sistem tidak dapat menghasilkan data posisi secara akurat.

5. Kesimpulan

Setelah membuat perancangan sistem dan melakukan pengujian dari sistem kendali dan *tracking* pada mesin *boat*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Tingkat akurasi pembacaan titik kordinat dari modul GPS Neo-6M yang dilakukan pada siang hari dengan cuaca cerah memiliki tingkat akurasi sejauh 4.8 meter, sedangkan tingkat akurasi pembacaan pada cuaca berawan mencapai 17.14 meter.
2. Pembacaan sensor kompas HMC5883L memiliki *error* pembacaan rata-rata 6° dengan nilai *error* terbesar 11.1°.

3. Perangkat kendali yang dirancang pada *boat* berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan pengujian sistem kendali manual dan perangkat sistem kendali mencapai 100%.
4. Jarak maksimal yang mampu dicapai oleh modul bluetooth HC-05 untuk saling terkoneksi dengan aplikasi sejauh 12 meter dalam keadaan LOS.
5. Sistem navigasi otomatis (*waypoint*) mampu mengatur gerak *boat* dalam mencapai posisi tujuan dengan akurasi 10.8 meter.

Daftar Pustaka:

- [1]. A. R. Putri, "ROBOT NAVIGATION CONTROL SYSTEM USING HMC5883L," vol. 3, no. 1, pp. 61–66, 2019.
- [2]. A. S. Taufik, "Sistem Navigasi Waypoint pada Autonomous Mobile Robot," *J. Mhs. TEUB*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [3]. 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, 2016.
- [4]. K. Nasional and K. Transportasi, "STATUS LAPORAN Kecelakaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (LLAJ)," no. November, 2018.
- [5]. 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.
- [6]. M. Lucky Oktavianto1, Dr.Basuki Rahmat, Ir.,MT.2,Unang Sunarya, ST., "Perancangan Dan Implementasi Sistem Navigasi Robot Kapal," vol. 1, no. 1, pp. 732–745, 2015.
- [7]. 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, 2017.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. P. Kendali, M. Untuk, M. Tabrakan, K. Patroli, C. Berbasis, and P. Model, "Perancangan Kendali Manuver Untuk Menghindari Tabrakan Pada Kapal Patroli Cepat Berbasis Pengujian Model," *kapal J. ILMU Pengetah. Teknol. Kelaut.*, vol. 14, no. 3, pp. 71–78, 2017.
- [11]. 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.
- [12]. S. Hasugian, A. A. I. Sri Wahyuni, M. Rahmawati, and A. Arleiny, "Pemetaan Karakteristik Kecelakaan Kapal di Perairan Indonesia Berdasarkan Investigasi KNKT," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 29, no. 2, p. 229, 2018.
- [13]. S. Warjono, S. Beta, A. Kristanto, H. Pratama, and R. R. Andriyani, "Sistem Pengaman dan Pelacak Kendaraan Bermotor Menggunakan GPS dan SMS," vol. 3, no. 1, pp. 2252–4908, 2014.
- [14]. V. No, D. Liani, and A. Silvia, "Sistem Navigasi pada Mobile Robot dengan Global Positioning System (GPS) ANNUAL RESEARCH SEMINAR 2016," *Annu. Res. Semin. 2016, 6 December 2016*, vol. 2, no. 1, pp. 373–376, 2016.