

LAPORAN TUGAS AKHIR
PROTOTIPE

**RANCANG BANGUN SISTEM *WAYPOINT*
PADA KAPAL TANPA AWAK**



I WAYAN ADITYA NUGRAHA

NIT: 22.36.307.3.001

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTIPE

RANCANG BANGUN SISTEM *WAYPOINT*

PADA KAPAL TANPA AWAK



I WAYAN ADITYA NUGRAHA

NIT: 22.36.307.3.001

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : I WAYAN ADITYA NUGRAHA

Nomor Induk Taruna : 22363073001

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

RANCANG BANGUN SISTEM WAYPOINT PADA KAPAL TANPA AWAK

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 21 Februari 2026



I WAYAN ADITYA NUGRAHA
NIT.22363073001

ABSTRAK

I WAYAN ADITYA NUGRAHA, Rancang Bangun Sistem *Waypoint* pada Kapal Tanpa Awak. Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing oleh Ibu Henna Nurdiansari, S.T., M.T., M.Sc. dan ibu ST. Hariati Buchari, S.Pd., M.Hum.

Kapal tanpa awak merupakan teknologi otonom yang mampu beroperasi tanpa kendali manusia. *Maritime Autonomous Surface Ships* (MASS) merupakan inovasi di bidang pelayaran yang memungkinkan kapal beroperasi secara otomatis dengan bantuan sensor dan sistem komunikasi digital. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan *waypoint* pada *Prototype* kapal patroli untuk mendukung pengawasan wilayah maritim. *Prototype* ini memiliki dimensi $96 \times 40 \times 20$ cm dan GPS Neo-6M sebagai penentu posisi, kompas GY-26 sebagai penentu arah, serta ESP32 dan Arduino Uno sebagai pusat kendali. ESP32 berfungsi mengolah data navigasi dari GPS dan kompas, sedangkan Arduino Uno mengendalikan motor servo *rudder* dan motor penggerak kapal. *Waypoint* ditentukan melalui perangkat lunak laptop berdasarkan koordinat GPS. Metode yang digunakan adalah metode R&D (*four-D*) *define, design, develop and disseminate*. Penelitian ini menerapkan konsep navigasi *waypoint* pada kapal tanpa awak dengan memanfaatkan data posisi dan *heading* untuk menentukan lintasan pelayaran. Penelitian ini berfokus pada pengembangan *Prototype* yang mengimplementasikan sistem *waypoint* pada USV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Prototype* mampu mengapung menahan beban hingga 1 kg. Sensor kompas GY-26 memiliki rentang *error* 2° – 3° , sedangkan GPS Neo-6M memiliki akurasi 3–5 cm. ESC mengendalikan BLDC dengan output 1600 rpm sesuai program, dan servo dapat menggerakkan *rudder* sesuai sudut yang diperintahkan. Sistem navigasi berhasil mengarahkan kapal mengikuti *waypoint* dari titik A hingga F secara otomatis dengan deviasi posisi rata-rata 28 cm. Selain itu, baterai 12 V 5000mAh mampu menyuplai sistem selama 2 jam 16 menit pada kecepatan tetap. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Integrasi GPS Neo-6M, kompas GY-26, ESP32, dan Arduino Uno mampu menghasilkan sistem navigasi otomatis yang dapat mengarahkan kapal menuju titik koordinat yang telah ditentukan.

Kata Kunci: Kapal Tanpa Awak, *Maritime Autonomous Surface Ships* (MASS), *Autonomous Navigation*, GPS, *Waypoint*, ESP32, Keamanan Maritim.

ABSTRACT

I WAYAN ADITYA NUGRAHA, Rancang Bangun Sistem Waypoint pada Kapal Tanpa Awak. Merchant Marine Polytechnic of Surabaya. Supervised by Ms. Henna Nurdiansari, S.T., M.T., M.Sc. and Ms. ST. Hariati Buchari, S.Pd., M.Hum.

Unmanned ships are technologies capable of operating without direct human control. Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) represent an innovation in the maritime sector that enables vessels to operate automatically using sensors and digital communication systems. The Prototype measures 96 × 40 × 20 cm and utilizes a Neo-6M GPS module for position determination, a GY-26 compass for heading detection, and ESP32 and Arduino Uno microcontrollers as the control units. The ESP32 processes navigation data from the GPS and compass, while the Arduino Uno controls the rudder servo and propulsion motor. Waypoints are defined through laptop-based software using GPS coordinates. The research employed the Research and Development (R&D) Four-D model. The developed USV utilizes waypoint-based navigation by processing GPS position and heading data to determine its route. Test results show that the Prototype can float properly while carrying loads of up to ±1 kg. The GY-26 Compass exhibited an error range of 2°–3°, while the Neo-6M GPS achieved an accuracy of ±3–5 cm. The ESC successfully controlled the BLDC motor at speeds up to 1600 rpm, and the servo accurately adjusted the rudder angle according to commands. The navigation system guided the vessel through waypoints A–F automatically, achieving a success with an average position error of 28 cm. In addition, the 12 V 5000 mAh battery powered the system continuously for 2 hours and 16 minutes at a constant speed. The results demonstrate that the integration of the Neo-6M GPS, GY-26 compass, ESP32, and Arduino Uno can provide an effective automatic navigation system for guiding a vessel to predetermined coordinates.

Keywords: *Waypoint, Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Unmanned ship, Autonomous, Waypoint, GPS, Compass.*

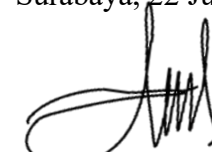
KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia dan rahmat-nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian dengan judul : “Rancang Bangun Sistem *Waypoint* Pada Kapal Tanpa Awak”. Dalam menyelesaikan karya ilmiah terapan ini, dengan penuh rasa hormat peneliti menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan, dorongan, bantuan serta petunjuk yang berarti. Untuk itu pada kesempatan ini peneliti menyampaikan ucapan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Direktur Kampus Politeknik Pelayaran Surabaya, Bapak MOEJIONO, M.T., M.Mar.E.
2. Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Bapak DIRHAMSYAH, S.Pd., M.Pd., M.Mar.E.
3. Dosen Pembimbing I dan selaku Sekretaris program studi D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Ibu HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc. yang telah membimbing, menasehati serta memotivasi kepada penulis dalam menyusun karya tulis ilmiah ini.
4. Dosen pembimbing II, Ibu ST. HARIATI BUCHARI, S.Pd., M.Hum. yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun karya tulis ilmiah ini.
5. Seluruh jajaran dosen dan civitas akademika Politeknik Pelayaran Surabaya atas pengalaman yang diberikan kepada penulis.
6. Orang tua tercinta sebagai keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moral serta material, semangat, motivasi, dan doa kepada penulis.
7. Senior, Rekan-rekan yang senantiasa memberikan support yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap semoga karya ilmiah terapan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi penulis khususnya. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan petunjuk dan lindungan dalam melakukan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun senantiasa penulis harapkan agar kedepannya dapat menjadi lebih baik, amin.

Surabaya, 22 Juni 2026



I Wayan Aditya Nugraha
NIT: 22 36 307 3 001

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR.....	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN LAPORAN HASIL HASIL TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
1. Secara Teoritis.....	6
2. Secara Praktis	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	7
B. Landasan Teori	11
1. Rancang Bangun Sistem	11
2. Kapal Patroli	11
3. Kapal Tanpa Awak / Unmanned Ship.....	13
4. Global Positioning System (GPS).....	14
5. Kompas	15
6. Titik Koordinat / Waypoint.....	16
7. ESP32.....	17
8. Arduino Uno	18
9. BLDC Motor	19
10. Lipo Battery	20
11. Motor Servo	21
12. Rudder.....	22
13. Propeller	23
C. Kerangka Berpikir.....	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Perancangan Sistem	29
1. Blok Diagram.....	29
2. Sistem Kerja	33
B. Perancangan Alat	37
1. Perancangan Wiring.....	37
2. Desain Tampilan	40

3. Perencanaan Navigasi	41
4. Perkiraan Daya Baterai	47
C. Rencana Pengujian	50
1. Keakurasian Navigasi Waypoint.....	50
2. Pengujian Baterai.	51
3. Pengujian Software.	51
4. Pengujian Hardware.	51
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	53
A. Uji Coba Produk.....	53
1. Pengujian Statis	53
2. Pengujian Dinamis	64
B. Kajian Produk	81
1. Data Performa USV	81
C. Analisa Data	83
BAB V PENUTUP.....	87
A. Kesimpulan	87
B. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Pengujian Kapal	54
Tabel 4. 2 Data Pengujian ESP32	55
Tabel 4. 3 Data Pengujian Kompas	57
Tabel 4. 4 Data Pengujian GPS	58
Tabel 4. 5 Data Pengujian ESC	59
Tabel 4. 6 Data Pengujian Servo	61
Tabel 4. 7 Data Pengukuran Battery	62
Tabel 4. 8 <i>Waypoint Route</i>	65
Tabel 4. 9 Data <i>Error</i>	80
Tabel 4. 10 Parameter Semua Sensor dari <i>Capstone</i>	81
Tabel 4. 11 <i>Error Waypoint</i>	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Patroli KPLP	12
Gambar 2.2 GPS Neo 6m.....	14
Gambar 2.3 Kompas GY-26.....	15
Gambar 2.4 Maps <i>Waypoint</i>	16
Gambar 2.5 Mikrokontroller ESP32	17
Gambar 2. 6 Arduino Uno	18
Gambar 2.7 Motor BLDC	19
Gambar 2. 8 <i>Battery Lipo</i>	20
Gambar 2.9 Motor Servo DC	21
Gambar 2.10 <i>Rudder</i>	22
Gambar 2. 11 <i>Propeller</i>	23
Gambar 2. 12 <i>Flowchart</i> Kerangka Berfikir	25
Gambar 3. 1 Metode Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 <i>Block Diagram Capstone</i>	30
Gambar 3.3 Blok Diagram	32
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> sistem kerta <i>waypoint</i>	33
Gambar 3. 5 <i>Algorithm Manoeuvring</i>	35
Gambar 3.6 <i>Wiring</i> Komponen	37
Gambar 3.7 Desain Kerangka Kapal.....	40
Gambar 3.8 <i>Prototype Catamaran Ship</i>	41
Gambar 3. 9 <i>Rute Waypoint</i>	43
Gambar 4. 1 Pengujian Lambung Kapal	53
Gambar 4. 2 Pengujian ESP32	55
Gambar 4. 3 Pengujian Sensor Kompas GY-26	56
Gambar 4. 4 GPS Neo 6M	57
Gambar 4. 5 ESC Seaking.....	59
Gambar 4. 6 Servo.....	60
Gambar 4. 7 Pengukuran Baterai	62
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Dinamis Hari Pertama.....	67
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Dinamis Hari Kedua	70
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Dinamis Hari Ketiga	73
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Dinamis Hari Keempat	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Coding Arduino Uno	93
Lampiran 2. Coding Arduino Uno	93
Lampiran 3. Coding Arduino Uno	94
Lampiran 4. Coding Arduino Uno	94
Lampiran 5. Coding Arduino Uno	94
Lampiran 6. Coding Arduino Uno	95
Lampiran 7. Coding ESP32	95
Lampiran 8. Coding ESP32	95
Lampiran 9. Coding ESP32	96
Lampiran 10. Coding ESP32	96
Lampiran 11. Coding ESP32.....	96

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti
GPS	: <i>Global Position System</i>
PC	: <i>Personal Computer</i>
dkk	: Dan kawan-kawan
SDM	: Sumber Daya Manusia
PID	: <i>Proportional Integral Derivative</i>
UAV	: <i>Underwater Autonomous Vessel</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
ESC	: <i>Elektronic Speed Control</i>
RPM	: <i>Rotation Per Minute</i>
MASS	: <i>Maritime Autonomous Surface Ships</i>
RI	: Republik Indonesia
AI	: <i>Artificial Intelligence</i>
FPP	: <i>Fix Pitch Propeller</i>
CPP	: <i>Control Pitch Propeller</i>
VPP	: <i>Variable Pitch Propeller</i>
RC	: <i>Remote Control</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Wilayah maritim yang luas memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas transportasi, perdagangan, eksplorasi sumber daya, serta pertahanan dan keamanan. Namun, luasnya area perairan yang harus diawasi menimbulkan berbagai tantangan dalam pelaksanaan pengawasan dan patroli maritim. Keterbatasan jangkauan operasi, kebutuhan sumber daya manusia yang besar, serta tingginya biaya operasional menjadi kendala dalam menjaga keamanan dan keselamatan wilayah perairan secara berkelanjutan. Selain itu, berbagai aktivitas yang berpotensi mengganggu keamanan maritim, seperti pelanggaran wilayah, penyelundupan, pencemaran laut, dan ancaman terhadap keselamatan pelayaran, memerlukan sistem pemantauan yang mampu bekerja secara efektif dan responsif. (Zhu, 2023)

(ANTARA, 2024) Badan Keamanan Laut (Bakamla) RI secara rutin melaksanakan Patroli Bersama yang melibatkan berbagai unsur laut dan udara guna meningkatkan keamanan, keselamatan, serta penegakan hukum di perairan Indonesia. Pada Patroli Bersama Tahun 2024, Bakamla mengerahkan sejumlah kapal patroli dan aset udara untuk mengawasi berbagai wilayah strategis perairan Indonesia selama 100 hari operasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kegiatan patroli memerlukan sumber daya yang besar, sehingga diperlukan inovasi teknologi yang mampu membantu tugas pengawasan secara lebih efektif dan efisien.

Perkembangan teknologi di bidang transportasi maritim saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya pada penerapan sistem otomatisasi dan *autonomous system*. Salah satu inovasi yang berkembang adalah kapal tanpa awak (*unmanned ship*) yang mampu beroperasi tanpa kehadiran manusia secara langsung di atas kapal. Teknologi ini menjadi bagian dari revolusi industri yang mengintegrasikan sistem kendali, sensor, dan komunikasi dalam satu kesatuan sistem cerdas (Miller, 2021).

Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) merupakan inovasi teknologi di bidang pelayaran yang memungkinkan kapal beroperasi secara otomatis dengan bantuan kecerdasan buatan, sensor, dan sistem komunikasi digital tanpa keterlibatan penuh awak kapal. Pengembangan MASS dinilai mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi *human error* sebagai penyebab utama kecelakaan laut, serta mendukung pelayaran yang lebih aman dan ramah lingkungan. Selain itu, teknologi ini menjadi bagian dari transformasi digital industri maritim global yang mulai diterapkan oleh berbagai negara maju. Berdasarkan penelitian (Issa, 2022) perkembangan MASS memerlukan pendekatan regulasi yang holistik agar teknologi kapal otonom dapat diimplementasikan secara aman, efisien, dan berkelanjutan.

Kapal tanpa awak memiliki berbagai keunggulan dibandingkan kapal konvensional, seperti meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi risiko kecelakaan kerja, serta mampu beroperasi di lingkungan yang berbahaya. Dalam bidang keamanan maritim, penggunaan kapal tanpa awak sangat relevan untuk kegiatan patroli, pengawasan wilayah perairan, serta deteksi dini terhadap potensi pelanggaran hukum di laut. (Lin, 2022)

Kapal tanpa awak yang dimaksud adalah kapal yang tidak menggunakan pengemudi dan bekerja secara otomatis pada target yang telah ditentukan dengan tujuan tertentu. Sistem navigasi menjadi bagian terpenting pada kapal tanpa awak ini, agar mampu bergerak secara mandiri. Sistem navigasi pada kapal tanpa awak dapat diartikan sebagai suatu kemampuan untuk memandu pergerakan dari suatu posisi ke posisi lain yang dituju melalui penentuan posisi dan haluan, agar kapal tanpa awak ini bisa digunakan untuk menjalankan aktivitas yang berguna.

Sistem navigasi merupakan komponen utama dalam pengoperasian kapal tanpa awak. Salah satu metode navigasi yang banyak digunakan adalah sistem *waypoint*, yaitu metode penentuan jalur berdasarkan titik-titik koordinat yang telah ditentukan sebelumnya. Sistem ini memungkinkan kapal bergerak secara otomatis mengikuti jalur yang telah dirancang dengan memanfaatkan data posisi dari GPS serta arah dari sensor kompas. (Han, 2023)

Dalam implementasinya, mikrokontroler seperti ESP32 dan Arduino uno digunakan sebagai pusat kendali karena memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup tinggi serta mendukung komunikasi *Wireless*. Selain itu, penggunaan modul GPS Neo-6M memungkinkan sistem memperoleh data koordinat secara *real-time*, Sensor Kompas juga sangat diperlukan sehingga kapal dapat menentukan posisi dan arah pergerakan secara akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *waypoint* pada kapal tanpa awak yang mampu bergerak secara otomatis menuju titik koordinat yang telah ditentukan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan kapal dapat digunakan sebagai *Prototype* kapal patroli yang efektif dalam

mendukung keamanan maritim. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji tingkat akurasi dan kinerja sistem navigasi dalam kondisi nyata.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mengembangkan suatu sistem navigasi yang bisa mengontrol kapal melewati *waypoint*, sehingga pada karya tulis ilmiah ini akan diusulkan judul “Rancang Bangun Sistem *Waypoint* Pada Kapal Tanpa Awak”. Sistem kerjanya adalah menggunakan koordinat *GPS waypoint* yang telah di program dari *PC*, kapal akan secara otomatis mengikuti titik koordinat tersebut dengan mengasumsikan setiap posisi dalam proses pergerakannya menjadi suatu titik dalam sistem koordinat tertentu (*latitude* dan *longitude* berdasarkan sistem koordinat bumi).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, peneliti menetapkan beberapa permasalahan sebagai fokus kajian penelitian agar pembahasan pada bab-bab selanjutnya dapat dilakukan secara lebih terarah dan sistematis. Adapun permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain *Prototype* kapal tanpa awak yang dilengkapi dengan sistem *waypoint*?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan sistem *waypoint* pada sistem kapal tanpa awak?
3. Bagaimana *Prototype* kapal tanpa awak bisa bergerak sesuai dengan titik koordinat yang sudah ditentukan?

C. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam karya ilmiah terapan ini tidak menyimpang dari tujuan penelitian, penulis menetapkan batasan masalah agar penelitian lebih terfokus dan terarah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain *Prototype* adalah kapal berukuran P 96 cm, L 40 cm, T 20cm.
2. Mikrokontroller yang digunakan adalah ESP32 dan Arduino Uno
3. Komponen yang digunakan untuk menentukan titik koordinat adalah *GPS* Neo 6M
4. Kompas GY-26 digunakan sebagai penentu sisi arah kapal
5. Mekanis propulsi yang digunakan adalah motor BLDC 3660 2600kv dengan *propeller* 3 blade berdiameter 48mm.
6. Sistem pada *Prototype* ini hanya bisa mengikuti titik koordinat yang telah ditentukan sebelumnya, tidak untuk merubah atau menambah *waypoint* baru secara *real-time*.
7. Derajat kemudi digunakan 20° - 160° dari 0° - 180° agar kemiringan *rudder* tidak menghambat manuver dari kapal.

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Mendesain *Prototype* kapal tanpa awak yang dilengkapi dengan sistem *waypoint*
2. Mengaplikasikan sistem *waypoint* pada sistem kapal tanpa awak

3. Mengetahui cara *Prototype* kapal tanpa awak bisa bergerak sesuai dengan titik koordinat yang sudah ditentukan.

E. Manfaat Penelitian

Peneliti mempunyai harapan yang cukup besar kepada para pembaca karya ilmiah terapan ini yang diharapkan dapat memberi manfaat, yaitu :

1. Secara Teoritis

- a. Mengembangkan teknologi terbaru di bidang GPS (*Global Positioning System*) yang bisa di aplikasikan dalam moda transportasi
- b. Menambah wawasan serta pengetahuan pembaca tentang sistem *waypoint* dalam GPS dan Mikrokontroller
- c. Mengerti tentang sistem kontrol *hardware* yang dikombinasikan dengan sistem kontrol *software*

2. Secara Praktis

- a. Mengembangkan teknologi dibidang *autonomous* khususnya *system waypoint* yang diaplikasikan pada kapal patroli.
- b. Menyediakan kemudahan para user atau kepelabuhanan untuk monitoring daerah-daerah pesisir dengan Kapal Patroli *autonomous*.
- c. Membantu pemantauan daerah yang rawan untuk dijangkau dengan mudah dan aman karena kapal ini bisa di arahkan kemana saja tanpa memberikan dampak kerugian jika terjadinya suatu musibah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Dalam mendukung dan memperkuat teori yang digunakan, penulis mengumpulkan berbagai referensi sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan sistem. Selain itu, dilakukan kajian terhadap beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang sedang dikembangkan. Adapun uraian penelitian terdahulu tersebut disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 *Review Penelitian Sebelumnya*
Sumber: Berdasarkan Jurnal *Online*

No	Nama	Judul	Metode	Perbedaan pada penelitian
1	Ahmad Sulkhani Taufik (2022), Universitas Brawijaya	Sistem Navigasi Waypoint pada <i>Autonomous Mobile Robot</i>	Metode yang digunakan adalah studi literatur, penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian dan analisis, serta penarikan kesimpulan.	Dalam perancangan tersebut peneliti menggunakan: Sistem penggerak roda (<i>tracked</i>), sistem pergerakan <i>differential drive</i>, sistem odometer, modul navigasi, PMB-688 GPS receiver dengan protokol data NMEA0183, modul CMPS03 <i>magnetic compass</i>, menggunakan catu daya 5V DC dan 24V DC. Sedangkan dalam penelitian ini menggunakan: GPS <i>Neo 6M</i>, ESP32, Motor Servo, motor DC <i>Brushless</i>, baterai 3S 4050Mh, <i>rudder</i> dan <i>propeller</i>. Dimana dalam penelitian sebelumnya diaplikasikan untuk robot dan sekarang diimplementasikan dalam kapal patroli.
2	Shinta Devionita, Suryadi Thoha, Joko Subur (2023),	Rancang Bangun Kontrol Pergerakan Posisi Kapal	Metode <i>PID (proportional, integral, derivative)</i> yang digunakan disini sebagai	Dalam perancangan tersebut menggunakan: GPS GY-NEO6MV2, kompas tipe GY-271-HMC5883L, motor Servo, kemudi kapal

No	Nama	Judul	Metode	Perbedaan pada penelitian
	Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia	Dengan Sistem <i>Waypoint</i> Berbasis <i>GPS</i> Menggunakan Metode <i>PID</i>	kontroller, yaitu menjaga posisi kendali pada kapal agar dapat mengikuti lintasan <i>waypoint</i> yang telah direncanakan sebelumnya.	(<i>rudder</i>), <i>setpoint</i> koordinat <i>waypoint</i> , metode <i>PID</i> . Sedangkan dalam penelitian ini dirancang memiliki perbedaan dalam komponen <i>GPS Neo 6M</i> , <i>ESP32</i> , motor servo, motor DC <i>brushless</i> , baterai 3S 4050Mh, <i>rudder</i> dan <i>propeller</i> . Penelitian sebelumnya menggunakan metode <i>PID</i> untuk sistem kontrol sedangkan sekarang menggunakan metode penelitian <i>R&D</i> dan sistem kontrol berbasis <i>waypoint</i> .
3	Sulaiman Khan 1, Kashif Ahmad2, Mohsin Murad3, Imran Khan4 (2023). 1,2,3) University of Engineering and Technology Peshawar, Pakistan,	<i>Waypoint Navigation System Implementation via a Mobile Robot Using Global Positioning System (GPS) and Global System for Mobile Communications (GSM) Modems</i>	<i>This model uses 7805 as a Voltage regulator which provides a convenient power source for most TTL components. Output signal from GPS receiver and GSM Modem is RS-232 signal that can be changed to TTL signal by using converting circuit, L293d is a dual H-Bridge motor driver, so with one IC interface two DC motors can be interfaced. These motors can be control.</i>	Pada penelitian tersebut menggunakan: <i>GPS receiver</i> , garmin eTrex-H <i>GPS</i> , <i>GSM</i> modem dan <i>sonar sensors</i> LV-MaxSonar-EZ4 (2unit). Sedangkan dalam penelitian ini dirancang menggunakan: <i>GPS Neo 6M</i> , <i>ESP32</i> , motor servo, motor DC <i>brushless</i> , baterai 3S 4050Mh, <i>rudder</i> dan <i>propeller</i> Perbedaan dalam penelitian sebelumnya menggunakan <i>GPS</i> Garmin dalam pengaturan koordinatnya sedangkan pada penelitian sekarang menggunakan perintah set koordinat dari <i>PC</i> secara langsung.
4	Ade Firlis Ansyori, Anton Yudhana (2024), Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia	Implementasi <i>Waypoint</i> Menggunakan <i>GPS</i> pada <i>UAV</i> untuk Mendapatkan Akurasi Terbaik dengan Pengontrol <i>PID</i>	agar wahana <i>UAV</i> tetap dalam jalur koordinat yang diberikan dan jarak <i>error</i> yang di hasilkan bisa diminimalisasi sesuai dengan nilai referensi. Maka disini digunakan metode pengendali <i>PID</i> dengan mengetahui jarak <i>error</i> pada wahana <i>UAV</i> melalui data titik koordinat dari <i>GPS</i> .	Pada penelitian tersebut menggunakan: <i>GPS</i> , <i>ESC</i> , motor DC <i>brushless</i> , <i>receiver</i> , <i>switch</i> , servo elevon, telemetry, buzzer, baterai, power module, remote dan pixhawk. Sedangkan dalam penelitian ini menggunakan: <i>GPS Receiver</i> , <i>ESP32</i> , motor DC <i>brushless</i> , servo, <i>rudder</i> dan <i>propeller</i> . Perbedaan dalam penelitian ini peneliti sebelumnya menggunakan sistem kontrol <i>PID</i> sedangkan sekarang dihubungkan langsung dari perintah laptop ke <i>receiver</i> .

No	Nama	Judul	Metode	Perbedaan pada penelitian
5	Niken S., Ratna S., Ihsan F.L., Fauzi M.S., ARBI A.J., (2021), Institut Teknologi Nasional Bandung	<i>The Autonomou s Disaster Victim Search Robot using the Waypoint Method</i>	sebuah robot yang ditanamkan metode <i>waypoint</i> dengan mengeksploitasi sensor, GPS dan divais komunikasi. Kemudian koordinat lokasi korban dikirim ke tim SAR untuk operasi penyelamatan. Robot ini mampu pulang ke posko asal untuk pengisian daya ketika daya baterainya hampir habis.	Pada penelitian tersebut menggunakan komponen: <i>GPS</i> Ublox Neo-7M, <i>Infrared sensors</i> E18-D80NK, <i>LoRa transmitter</i> , <i>Microwave</i> sensor RCWL-0516, Arduino, <i>Thermal</i> sensor D6T, <i>Compass</i> HMC5883L, <i>Motor driver</i> VNH2SP30, <i>DC motors</i> , <i>LoRa receiver</i> dan PC/laptop Sedangkan dalam penelitian ini dirancang sekarang menggunakan: <i>GPS Neo 6M</i> , <i>ESP32</i> , <i>motor servo</i> , <i>motor DC brushless</i> , <i>baterai 3S 4050Mh</i> , <i>rudder</i> dan <i>propeller</i> Dimana perbedaan dalam penelitian sebelumnya dan sekarang adalah penelitian sebelumnya diimplementasikan dalam bentuk robot dan sekarang diimplementasikan dalam bentuk kapal patroli.

Pada tabel 2.1 dapat dilihat beberapa *review* penelitian sebelumnya yang sudah peneliti tinjau. Berdasarkan hasil kajian terhadap lima penelitian terdahulu, terdapat persamaan dengan penelitian yang dilakukan penulis, yaitu sama-sama menerapkan sistem navigasi berbasis *waypoint* untuk mengarahkan kendaraan otonom menuju titik koordinat yang telah ditentukan. Seluruh penelitian memanfaatkan teknologi GPS sebagai sumber data posisi dan sebagian besar menggunakan sensor kompas sebagai penentu arah pergerakan. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut bertujuan mengembangkan sistem navigasi otomatis yang mampu bergerak secara mandiri tanpa kendali manusia secara langsung. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa metode *waypoint* berbasis GPS merupakan metode yang efektif dan banyak digunakan dalam pengembangan sistem navigasi otonom. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi konsep dasar yang sama dengan mengimplementasikan sistem

waypoint pada kapal tanpa awak sebagai media navigasi otomatis untuk mendukung kegiatan patroli maritim.

Meskipun memiliki kesamaan dalam penggunaan sistem *waypoint* dan GPS, penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dibandingkan penelitian terdahulu yang merupakan keterbaruan atau *novelty*, sebagian besar penelitian sebelumnya mengimplementasikan sistem *waypoint* pada robot darat dan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), serta menggunakan metode kontrol PID, sensor tambahan, dan sistem komunikasi yang lebih kompleks seperti GSM, LoRa, *telemetry*, dan *sonar* sensor. Sementara itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan *Prototype* yang mengimplementasikan sistem *waypoint* pada kapal laut atau USV (*Unmanned Surface Vehicle*) untuk mendukung perkembangan (*Maritime Autonomous Surface Ships*) MASS, kapal patroli tanpa awak *Unmanned Surface Vehicle* ini hanya menggunakan beberapa komponen *electronic* yaitu GPS NEO-6M, sensor Kompas GY-26, ESP32, Arduino Uno, motor servo, motor DC *brushless*, *rudder*, *propeller*, dan baterai LiPo sebagai komponen utama sistem. Selain itu, koordinat *waypoint* pada penelitian ini ditentukan langsung melalui komputer dan diproses oleh ESP32 untuk mengendalikan pergerakan kapal secara otomatis. Fokus pada pengujian ini adalah keakurasian navigasi, keberhasilan mencapai *waypoint*, dan kestabilan operasi kapal, guna mendukung pengembangan teknologi patroli maritim berbasis *autonomous navigation*.

B. Landasan Teori

1. Rancang Bangun Sistem

Perancangan adalah sebuah proses untuk mendefinisikan sesuatu yang akan dikerjakan dengan menggunakan teknik yang bervariasi serta didalamnya melibatkan deskripsi mengenai desain serta detail komponen yang akan dialami dalam proses pengerjaannya (Rosita Cahyaningtyas, 2025). Adapun tujuan dari perancangan yaitu untuk memberikan pandangan atau gambaran yang jelas kepada pemrogram dan ahli teknik yang terlibat.

Bangun sistem merupakan arti dari membangun sistem informasi dan komponen yang didasarkan pada spesifikasi desain. Pengertian pembangunan atau bangun sistem adalah kegiatan menciptakan sistem baru maupun mengganti atau memperbaiki sistem yang telah ada secara keseluruhan. (Pressman, 2023) Dari paragraf diatas dapat disimpulkan bahwa pengertian rancang bangun adalah kegiatan memindahkan hasil analisa ke dalam bentuk perangkat lunak kemudian membentuk sistem baru atau memperbaiki sistem yang sudah ada. Dalam penelitian ini, teori rancang bangun digunakan sebagai dasar dalam proses perencanaan, pembuatan, serta pengujian sistem *waypoint* pada kapal tanpa awak.

2. Kapal Patroli

Kapal patroli merupakan moda utama dalam menjaga keamanan pantai dan laut teritorial. Kehadiran kapal patrol merupakan suatu yang utama karena akan menunjukkan kedaulatan hukum negara dan kemampuan kontrol di wilayah tersebut (Munaf, 2022). Dalam konteks penjagaan laut teritorial, kapal patroli lebih efektif dibandingkan kapal perang yang berukuran besar.

Hal ini karena pengoperasian yang lebih murah. Penelitian (Setiadji, 2023) mengungkapkan bahwa untuk mengamankan *vulnerable point* di perairan Kepulauan Riau cukup dibutuhkan 12 armada kapal patroli dengan biaya pengoperasian selama 1 tahun sebesar Rp.381,831,914,000,-.

Umumnya, kapal patroli yang diproduksi di dalam negeri baik dari Fasilitas Pemeliharaan dan Perbaikan (*Fasharkan*) dan perusahaan galangan kapal nasional menggunakan lambung tunggal *mono hull*. Selain lambung tunggal, lambung kapal juga ada yang *multi hull* di antaranya adalah *catamaran* atau lambung ganda. Teori kapal patroli digunakan untuk memahami fungsi dan karakteristik kapal yang digunakan sebagai sarana pengawasan wilayah perairan



Gambar 2. 1 Kapal Patroli KPLP

Sumber: <https://share.google/Jp9vB2Hgb7oJ8d7aw>

Pada gambar 2.1 adalah kapal patroli milik KPLP yang berjenis *double hull* atau *catamaran* yang biasanya digunakan untuk berpatroli dipesisir laut dan memonitoring keadaan sekitar laut. Desain *catamaran* memiliki beberapa keunggulan, yaitu kemampuan berlayar dengan kecepatan tinggi, efisiensi bahan bakar yang lebih baik, serta kenyamanan operasi yang lebih tinggi akibat berkurangnya getaran dan gerakan oleng. Dalam penelitian ini, bentuk lambung *catamaran* dipilih sebagai dasar desain *Unmanned Surface Vehicle*

(USV) karena memiliki stabilitas yang baik saat membawa komponen elektronik seperti GPS, kompas digital, baterai, mikrokontroler, dan sistem propulsi. Dengan stabilitas yang lebih tinggi, data navigasi yang diperoleh sensor menjadi lebih akurat sehingga mendukung kemampuan kapal untuk bergerak secara otomatis menuju *waypoint* yang telah ditentukan.

3. Kapal Tanpa Awak / *Unmanned Ship*

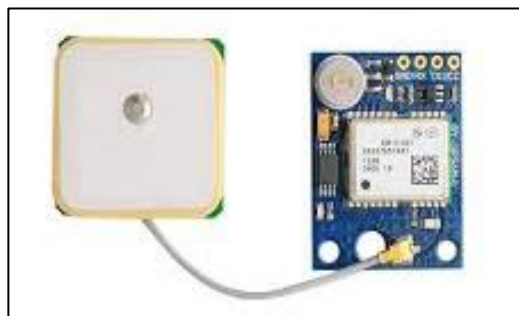
Kapal tanpa awak adalah kapal dapat bergerak otomatis atau bisa dibidang *autopilot*. *Autopilot* adalah modul berbasis *open-source* yang berkembang untuk modul *autopilot*. Baik *autopilot* untuk pesawat (*Arduplane*), *Multicopter* (*Arducopter*) dan juga kendaraan darat (*Ardurover*). Modul ini menggunakan mikrokontroler arduino yang sangat populer di bidang instrumentasi. (Beaudoin, 2023)). Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan modul yang ada dalam mikrokontroler ESP32. Tugas-tugas yang dapat dilakukan seperti pengumpulan data dan pengawasan. Kendaraan ini menggunakan GPS, sensor dan aktuator untuk mengikuti titik arah, menghindari rintangan, dan mengumpulkan informasi seperti data batimetri, data lingkungan, serta melakukan operasi militer. (Satria, 2024)

Teori kapal tanpa awak (*unmanned ship*) menjadi dasar dalam pengembangan sistem yang mampu beroperasi secara otomatis tanpa kendali langsung dari manusia yang akan diaplikasikan dalam prototipe penelitian ini. Menurut (Permana, 2023) berdasarkan karakteristik dan kemampuannya, kapal tanpa awak atau *Unmanned Surface Vehicle* (USV) menjadi solusi yang efektif untuk mendukung berbagai kegiatan maritim modern, seperti pemantauan lingkungan, survei perairan, patroli keamanan, dan penelitian.

Pada penelitian ini, USV dirancang untuk bergerak secara otomatis menuju *waypoint* yang telah ditentukan dengan memanfaatkan sensor GPS Neo-6M sebagai penentu posisi dan kompas digital sebagai penentu arah. Integrasi sistem navigasi dan pengendalian tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional secara langsung selama proses pelayaran kapal USV ini.

4. *Global Positioning System* (GPS)

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang digunakan untuk menentukan posisi suatu objek di permukaan bumi secara akurat berdasarkan koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*). Sistem GPS bekerja dengan menerima sinyal dari beberapa satelit yang mengorbit bumi, kemudian menghitung posisi penerima menggunakan metode trilaterasi. GPS banyak dimanfaatkan pada sistem navigasi, pelacakan kendaraan, pemetaan, dan aplikasi (*Iot*) *Internet of Things* (Pradana, 2022). GPS Neo 6M bisa dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 GPS Neo 6m

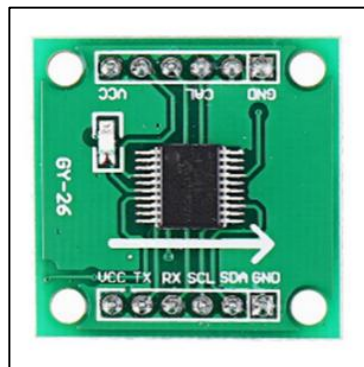
Sumber: <https://images.app.goo.gl/UgCCn88wpXDbxFvZ9>

Pada penelitian ini, GPS Neo-6M digunakan sebagai sensor penentu posisi kapal tanpa awak (*Unmanned Surface Vehicle/USV*). Data koordinat yang diperoleh berupa nilai *latitude* dan *longitude* kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan jarak dan arah menuju *waypoint*

yang telah ditentukan sebelumnya. Informasi posisi tersebut menjadi dasar dalam sistem navigasi otomatis sehingga kapal dapat bergerak menuju titik tujuan secara mandiri. Dengan kemampuan tersebut, GPS Neo-6M menjadi salah satu komponen penting dalam sistem navigasi USV karena mampu memberikan informasi posisi secara *real-time* yang dibutuhkan untuk proses penentuan jalur dan pengendalian arah kapal.

5. Kompas

Sensor kompas GY-26 merupakan modul berbasis magnetometer digital yang digunakan untuk mendeteksi arah medan magnet bumi sehingga dapat menentukan arah mata angin, utara dan selatan berupa derajat (0° – 360°) (Sanhaji, 2023).



Gambar 2. 3 Kompas GY-26

Sumber: <https://share.google/fWN4G57DCK7MbUbgB>

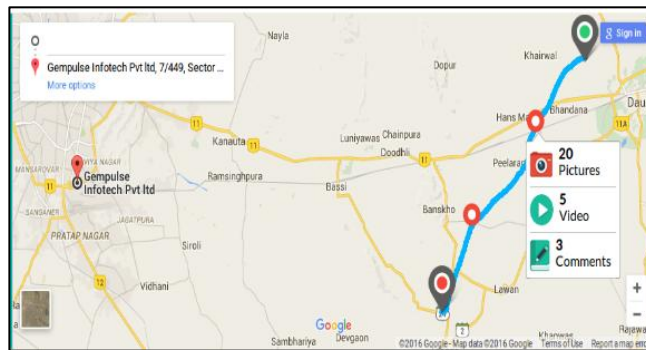
Dapat dilihat pada gambar 2.3 sensor Kompas GY-26 ini sering digunakan pada sistem navigasi berbasis mikrokontroler seperti Arduino Uno karena mampu menghasilkan data arah dalam bentuk sudut 0° hingga 360° .

Prinsip kerja sensor ini adalah dengan membaca komponen medan magnet pada sumbu tertentu, kemudian mengolahnya menjadi data digital yang menunjukkan arah utara, timur, selatan, dan barat. namun sensor ini cukup sensitif terhadap gangguan medan magnet di sekitarnya sehingga

memerlukan kalibrasi agar hasil pengukuran tetap akurat. kompas sebagai penentu arah haluan kapal, serta metode *waypoint* sebagai panduan jalur pelayaran menuju titik koordinat yang telah ditentukan. Sensor ini sangat cocok digunakan untuk menentukan *heading*.

6. Titik Koordinat / *Waypoint*

Titik koordinat / *Waypoint* adalah lokasi atau titik tertentu pada rute atau jalur, sering kali digunakan dalam navigasi untuk merencanakan dan melacak kemajuan. Titik arah umumnya digunakan dalam berbagai aktivitas seperti *hiking*, berlayar, penerbangan, dan sistem navigasi GPS. (Rachmawati, 2023)



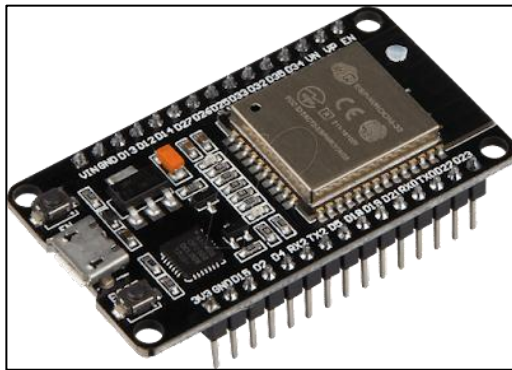
Gambar 2. 4 *Maps Waypoint*

Sumber: <https://share.google/X8fjt8Mmf19Wdf2n>

Gambar 2.4 menunjukkan contoh *waypoint* sebagai titik koordinat yang digunakan dalam sistem navigasi GPS untuk menentukan jalur perjalanan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Dalam penelitian ini, *waypoint* berfungsi sebagai titik tujuan yang harus dicapai oleh USV secara otomatis. Data posisi dari GPS Neo-6M dan data arah dari kompas digital digunakan untuk mengarahkan kapal menuju *waypoint* yang telah ditentukan. Apabila kapal telah berada dalam batas toleransi jarak yang ditetapkan, *waypoint* dianggap tercapai dan sistem akan melanjutkan navigasi ke *waypoint* berikutnya atau menghentikan pergerakan sesuai program.

7. ESP32

ESP32 adalah *chip* dengan WiFi 2.4 GHz dan *bluetooth* dengan desain teknologi 40 nm yang dirancang untuk daya dan kinerja radio terbaik yang menunjukkan ketahanan, keserbagunaan dan keandalan dalam berbagai aplikasi dan skenario daya (Systems., 2021). ESP32 merupakan sebuah modul mikrokontroler dengan fitur mode ganda yakni WiFi dan *bluetooth* yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam membuat berbagai sistem aplikasi dan proyek berbasis *IoT (Internet of Things)*. ESP32 adalah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya.



Gambar 2.5 Mikrokontroler ESP32

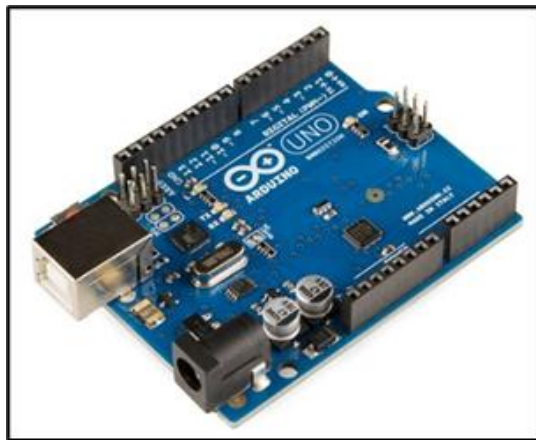
Sumber: <https://images.app.goo.gl/qSKzh4PD3ELcZfx3A>

Dapat dilihat pada gambar. 2.5 pada ESP32 terdapat inti CPU serta Wi-Fi yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, dan dukungan terhadap *Bluetooth 4.2*, serta konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk membuat beberapa proyek-proyek elektronika berbasis Internet of Things. Dengan spesifikasi dan kemampuannya tersebut, ESP32 menjadi salah satu mikrokontroler yang sesuai untuk diterapkan pada sistem navigasi otomatis USV karena mampu mengolah data sensor secara *real-time* serta mendukung

komunikasi antarperangkat secara efisien dan digunakan sebagai pusat pengendali yang bertugas meneruskan data navigasi ke sistem *actuator rudder* dan BLDC.

8. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem kendali, otomasi, robotika, dan instrumentasi elektronik. Arduino Uno dipilih karena memiliki kemudahan pemrograman, harga yang relatif terjangkau, serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan aktuator. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai pusat pengolah data yang menerima masukan (*input*) dari sensor, memproses data sesuai program yang diberikan, kemudian menghasilkan keluaran (*output*) untuk mengendalikan perangkat lain. (Arduino., 2023)



Gambar 2. 6 Arduino Uno

Sumber: <https://share.google/NVeC6H2P5SoYH1Sgh>

Gambar 2.6 diatas adalah bentuk fisik dari Arduino uno, dalam sistem monitoring berbasis IoT, Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari sensor, memproses data, kemudian mengirimkan hasil pembacaan ke perangkat output atau platform monitoring. Penggunaan Arduino Uno memberikan kemudahan dalam proses integrasi perangkat keras

dan perangkat lunak sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis dan *real-time*. Selain itu, Arduino Uno memiliki konsumsi daya yang rendah dan kestabilan kerja yang baik sehingga cocok digunakan pada sistem monitoring kapal tanpa awak atau *Unmanned Surface Vehicle (USV)*.

9. BLDC Motor

Brushless DC Motor adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut *stator* (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut *rotor* (bagian yang berputar). Motor arus searah sebagaimana namanya menggunakan arus langsung. BLDC motor memiliki 3 (tiga) bagian *socket cable* utama untuk mengatur putaran motor *forward* atau *reverse*. (Krishnan, 2022)



Gambar 2.7 Motor DC *Brushless*

Sumber : <https://images.app.goo.gl/k2rceUJHjer1hoyC9>

Gambar 2.7 merupakan salah satu bentuk BLDC yang umumnya digunakan untuk menggerakkan baling-baling atau *propeller*, berfungsi menghasilkan gaya dorong agar kapal dapat bergerak menuju *waypoint* yang ditentukan. Tipe ini sudah terverifikasi *water proof* dari maker pabrik, dibuat khusus dan spesial untuk penggunaan *RC boat*.

10. *Lipo Battery*

Lithium-polymer (Li-Po) adalah jenis baterai yang mengandalkan elektrolit polimer kering sebagai pengganti elektrolit cair yang digunakan dalam baterai konvensional. Elektrolit polimer kering ini berbentuk lapisan plastik *film* tipis yang tersusun di antara anoda dan katoda, sehingga memungkinkan pertukaran ion. (Linden, 2021)



Gambar 2. 8 *Battery Lipo*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/YsxUqhNegsfFPdCc8i>

Seperti pada gambar 2.8 diatas, strukturnya mirip dengan baterai Li-ion, namun terbuat dari bahan seperti gel (*Silicon-Graphene*) yang bobotnya cukup ringan. baterai ini dapat diisi ulang dari teknologi lithium-ion menggunakan elektrolit polimer sebagai pengganti elektrolit cair. *Type* dari *battery* ini adalah 3S 5000mAh 80c. *Proper* digunakan sebagai sumber penyimpanan energi utama untuk menyuplai daya ke seluruh sistem kelistrikan USV kali ini, karena sangat efektif untuk digunakan dalam pengujian *Prototype* ringan, *power full* mudah untuk perawatan, *maintenance*, dan yang paling penting adalah sangat baik untuk menjaga *temperature battery* dalam keadaan *amdiend temperature*. Selain itu keunggulan lain dari arsitektur baterai LiPo adalah kemampuannya untuk dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran yang fleksibel, membuatnya ideal untuk aplikasi dengan ruang terbatas (Lamablawa & Aritonang, 2022).

11. Motor Servo

Motor servo adalah *aktuator* elektromekanik yang dirancang untuk mengendalikan posisi, kecepatan, dan percepatan secara presisi melalui sistem kontrol umpan balik (*closed-loop control*). sehingga mampu menghasilkan gerakan yang akurat dan stabil. (Bolton, 2021). Pada sistem servo, terdapat tiga komponen utama yaitu motor, sensor umpan balik (*feedback sensor*), dan pengendali (*controller*). Ketiga komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk memastikan posisi atau kecepatan motor sesuai dengan nilai yang diinginkan.



Gambar 2.9 Motor Servo DC

Sumber: <https://images.app.goo.gl/SbHYepH4kcvEbt1L8>

Gambar 2.9 menunjukkan salah satu jenis motor servo. Komponen didalam servo ini bekerja dengan membandingkan sinyal masukan dengan posisi aktual yang diperoleh dari sensor umpan balik, seperti *encoder* atau *potensiometer*. Dalam penelitian ini motor servo digunakan untuk menggerakkan *rudder* dan mengatur arah gerak kapal USV sesuai perintah sistem navigasi yang diberikan oleh mikrokontroler ESP32.

12. *Rudder*

Rudder atau kemudi kapal merupakan salah satu komponen penting dalam sistem kendali dan navigasi kapal yang berfungsi untuk mengubah arah gerak kapal sesuai dengan haluan yang diinginkan. *Rudder* umumnya dipasang pada bagian buritan kapal, tepat di belakang *propeller*, sehingga aliran air yang dihasilkan oleh putaran *propeller* dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan gaya belok yang lebih efektif. Ketika *rudder* dibelokkan ke kanan atau ke kiri, aliran air yang melewati permukaannya akan menghasilkan gaya hidrodinamika yang menyebabkan kapal berputar dan berubah arah (Rawson, 2022)



Gambar 2.10 *Rudder*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/QUYLez5TETwNY6JB6>

Pada Gambar 2.10 adalah contoh *rudder RC boat*. Dalam sistem kapal tanpa awak (*Unmanned Surface Vehicle*), pergerakan *rudder* umumnya dikendalikan oleh motor servo yang menerima perintah dari mikrokontroler berdasarkan hasil pengolahan data navigasi. Besarnya sudut *rudder* akan memengaruhi kemampuan manuver kapal, dimana semakin besar sudut kemudi maka semakin besar pula gaya belok yang dihasilkan. Namun, sudut *rudder* yang terlalu besar dapat meningkatkan hambatan air dan mengurangi efisiensi pergerakan kapal. Dalam penelitian ini, *rudder* digunakan sebagai

actuator utama sistem kemudi yang berfungsi mengarahkan kapal menuju *waypoint* yang telah ditentukan.

13. *Propeller*

Propeller atau baling-baling kapal merupakan komponen utama sistem propulsi yang berfungsi mengubah energi putar dari motor atau mesin menjadi gaya dorong (*thrust*) sehingga kapal dapat bergerak di atas permukaan air. Gaya dorong tersebut dihasilkan dari perbedaan tekanan yang terjadi pada permukaan *blade propeller* saat berputar di dalam fluida. Semakin besar gaya dorong yang dihasilkan, maka semakin besar pula kemampuan kapal untuk bergerak maju dan mempertahankan kecepatan operasionalnya (Carlton, 2022)

Berdasarkan mekanisme sistem pemegang *blade propeller*, ada dua jenis mekanisme yang umum dipakai, *Fixed Pitch Propeller* (FPP) dan mekanisme yang dapat diatur sudut serangnya yang biasa disebut dengan *Controllable Pitch Propeller* (CPP) atau *Variable Pitch Propeller* (VPP). Mekanisme CPP lebih menguntungkan dibandingkan dengan mekanisme FPP, karena pada CPP dapat dihasilkan daya dorong yang bervariasi dengan putaran *propeller* yang konstan. (Molland, 2023).



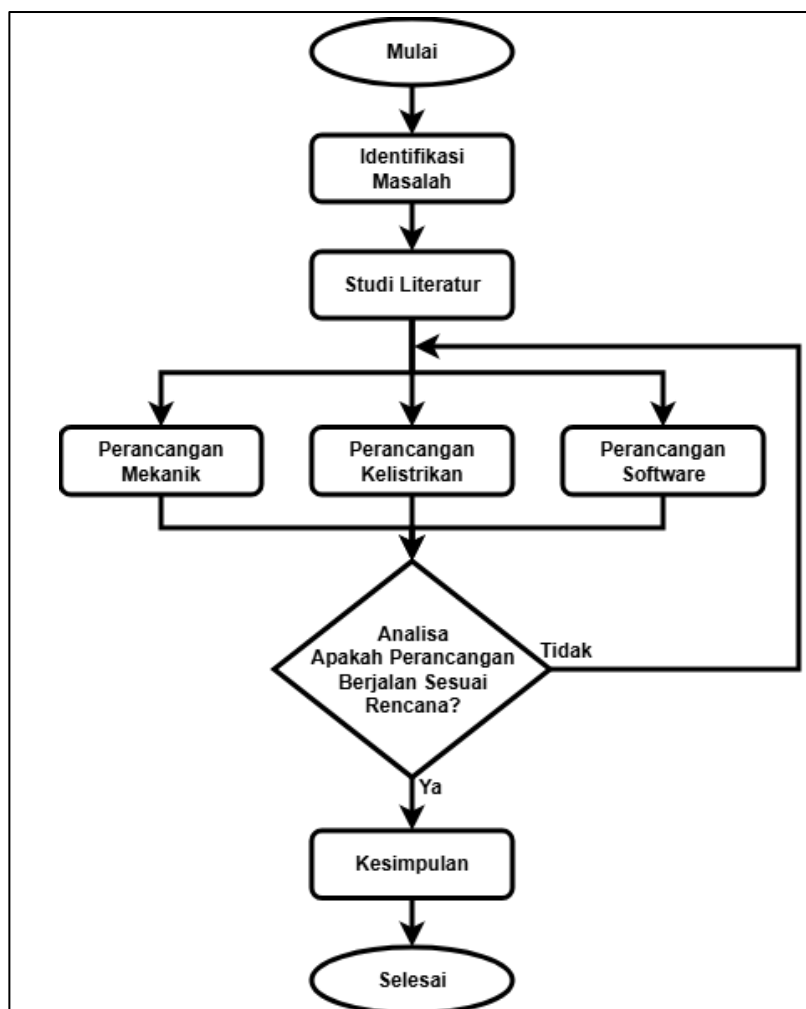
Gambar 2. 11 *Propeller*

Sumber: <https://images.app.goo.gl/V4gcSkrqkAygabu6A>

Propeller FPP dapat dilihat pada gambar 2.11, pada penelitian ini, *propeller* digunakan sebagai sistem propulsi utama pada *Prototype* kapal tanpa awak. *Propeller* digerakkan oleh motor DC *brushless* untuk menghasilkan gaya dorong yang diperlukan dalam menjalankan misi navigasi berbasis *waypoint*. Pemilihan ukuran dan jumlah *blade propeller* dilakukan untuk memperoleh keseimbangan antara kecepatan, stabilitas, dan efisiensi gerak kapal selama proses pengujian. Dengan adanya *propeller*, energi listrik yang disuplai oleh baterai dan diubah menjadi energi mekanik oleh motor dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan kapal menuju titik *waypoint* yang telah ditentukan secara otomatis.

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan gambaran alur penelitian yang digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian agar setiap tahapan dapat dilakukan secara sistematis dan terarah. Kerangka berpikir ini disusun berdasarkan identifikasi masalah, kajian teori, serta proses perancangan dan pengujian sistem yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Melalui kerangka berpikir, hubungan antara setiap tahapan penelitian dapat dipahami dengan lebih jelas, sehingga proses penelitian dapat berjalan secara efektif dan menghasilkan solusi yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti. Adapun kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2. 12 *Flowchart* Kerangka Berfikir

Bisa dilihat pada gambar 2.12, Penelitian diawali dengan identifikasi masalah untuk menentukan permasalahan dan tujuan penelitian. Selanjutnya dilakukan studi literatur sebagai dasar teori dan acuan dalam pengembangan sistem. Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan perancangan sistem yang meliputi perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan sistem kelistrikan.

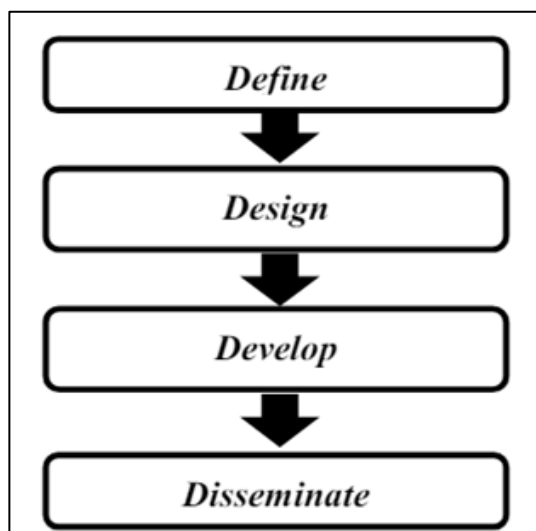
Sistem navigasi otomatis pada kapal tanpa awak dirancang menggunakan GPS Neo-6M untuk memperoleh data posisi dan kompas GY-26 untuk mengetahui arah kapal. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 dan Arduino Uno untuk menentukan arah pergerakan menuju *waypoint* yang telah ditentukan. Hasil pengolahan data digunakan untuk mengendalikan motor BLDC dan kemudi (*rudder*) sehingga kapal dapat bergerak secara otomatis menuju titik tujuan.

Tahap berikutnya adalah pengujian sistem untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai perancangan. Jika ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan evaluasi dan perbaikan hingga sistem bekerja dengan baik. Setelah sistem berhasil berjalan sesuai dengan yang direncanakan, dilakukan analisis terhadap hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja dan tingkat keberhasilan sistem. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kesimpulan, yang berisi rangkuman hasil penelitian serta jawaban terhadap permasalahan yang telah dirumuskan. Dengan demikian, seluruh tahapan penelitian dapat diselesaikan secara sistematis dan terarah hingga mencapai tujuan yang diharapkan.

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini penulis menerapkan metode penelitian *Research and Development (R&D)*. *Research and Development* adalah suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggungjawabkan (Nana Syaodih,2020). Menurut (Budiyono,2020) Metode *Research and Development* atau R&D adalah suatu metode penelitian yang menghasilkan sebuah produk dalam bidang keahlian tertentu, dan diikuti produk sampingan tertentu serta memiliki efektifitas atau perkembangan dari produk tersebut. Penelitian ini mengacu pada model penelitian dan pengembangan 4D (*Four-D*) yang dikembangkan oleh Thiagarajan, dkk. (1974). Model penelitian ini terdiri atas 4 tahap utama yakni pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), dan penyebaran (*disseminate*). Agar memudahkan urutan pada metode R&D (*Four-D*) dibuatkan diagram yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Metode Penelitian
Sumber: Tahapan Penelitian Model 4D

Menurut Endang Mulyatiningsih (2020) dalam, tahapan dalam prosedur pengembangan penelitian R&D *four-D* adalah:

1. *Define* (pendefinisian) dalam tahap ini dibagi dalam 3 bagian:
 - a. Menentukan kebutuhan dan tujuan Analisis kebutuhan dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui media apa yang dibutuhkan dan alasan yang mendasari sehingga media ini dibutuhkan. Dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan akan media yang diinginkan.
 - b. Mengumpulkan sumber-sumber yang didapat dari buku teks seperti modul pembelajaran, buku referensi, *jobsheet*, film maupun pengetahuan dari seorang yang ahli dalam bidang media dan materi terkait.
 - c. Menghasilkan gagasan-gagasan yang didapat dari beberapa ahli media atau materi yang dikumpulkan dan diteliti dahulu sebelum memulai pembuatan media atau inovasi terbaru.
2. *Design* (perancangan) dalam tahap ini dilakukan penyusunan rencana penelitian, meliputi komponen yang diperlukan dalam penelitian, rumusan tujuan yang hendak dicapai dengan penelitian tersebut, desain atau langkah-langkah penelitian, kemungkinan pengujian dalam lingkup terbatas. Sebelum materi rancangan produk dilanjutkan ke tahap selanjutnya maka rancangan produk tersebut perlu di validasikan kepada dosen atau guru.
3. *Development* (pengembangan) dalam tahap ini dilakukan perancangan secara reel dari apa yang telah direncanakan sebelumnya, memprogram materi, menyiapkan komponen pendukung, setelah media yang dikembangkan selesai, tahap selanjutnya yaitu melakukan uji validasi kepada dosen dan

Masyarakat umum. Hasil uji validasi digunakan sebagai revisi agar media yang dikembangkan benar-benar telah mencapai tujuan yang diperkirakan.

4. *Disseminate* (penyebarluasan) pada tahap ini dilakukan sosialisasi media pembelajaran yang telah dikembangkan dosen dan masyarakat umum untuk memperoleh tanggapan tentang sistem yang telah dikembangkan. Dilakukan dengan cara melihat respon atau tanggapan melalui uji lapangan sehingga mendapatkan hasil media yang telah dikembangkan layak atau tidak untuk digunakan sebagai media pembelajaran. Setelah didapatkan hasil yang sesuai dengan keinginan lalu dilakukan *mastering*.

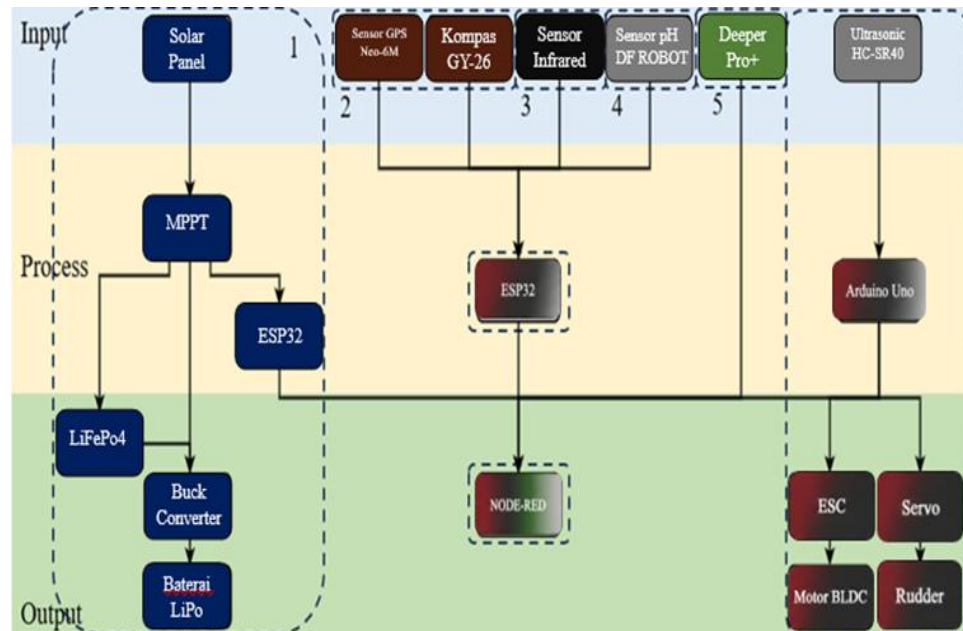
A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai hubungan antar komponen serta mekanisme kerja sistem secara keseluruhan. Dengan adanya perancangan yang baik, proses implementasi dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai blok diagram sistem serta sistem kerja yang menjelaskan alur operasi dan proses kerja alat dari awal hingga menghasilkan keluaran yang diharapkan.

1. Blok Diagram

Blok diagram sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan kerja antar komponen yang digunakan pada penelitian ini. Menunjukkan alur proses mulai dari penerimaan data navigasi, pengolahan data oleh mikrokontroler, hingga pengendalian aktuator yang menggerakkan kapal tanpa awak. Melalui blok diagram, dapat diketahui fungsi masing-masing

komponen serta aliran data yang terjadi di dalam sistem secara keseluruhan. Adapun blok diagram sistem *waypoint* pada kapal tanpa awak yang dirancang dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

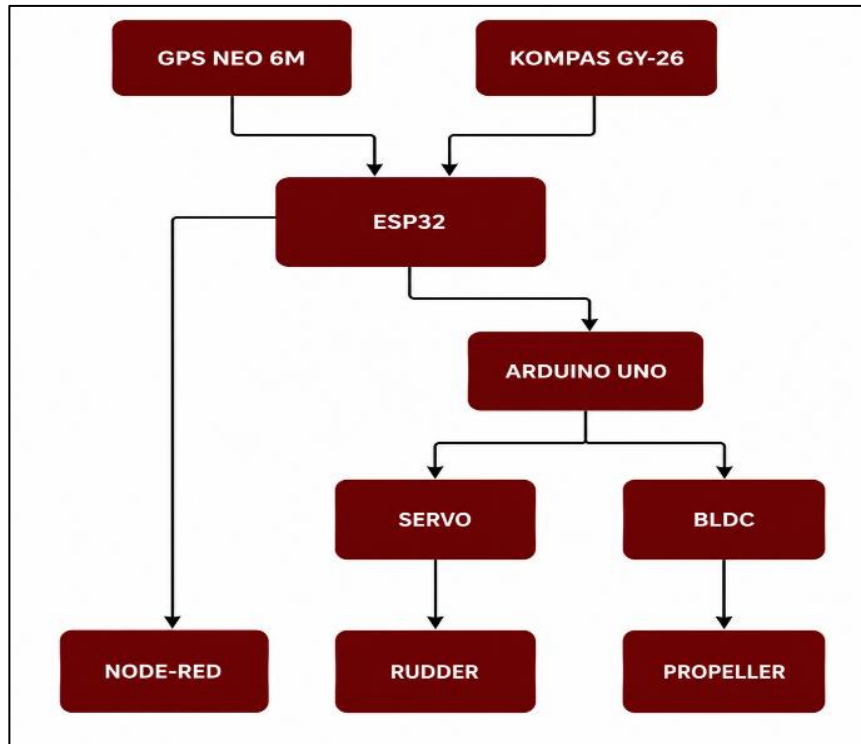


Gambar 3. 2 Block Diagram Capstone

Gmabar 3.2 menunjukan penelitian yang dilakukan merupakan bagian dari implementasi *Capstone Design* yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi dalam mendukung operasional kapal tanpa awak. Meskipun penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian sistem *waypoint*, pemahaman terhadap keseluruhan sistem tetap diperlukan untuk mengetahui hubungan kerja antar komponen. Oleh karena itu, berikut disajikan gambaran umum *Capstone Design* beserta fungsi masing-masing komponen yang terlibat dalam sistem.

- a. Solar Panel: Solar panel berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang digunakan sebagai sumber daya utama sistem pengisian baterai.

- b. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*): MPPT berfungsi mengoptimalkan daya yang dihasilkan solar panel agar proses pengisian baterai menjadi lebih efisien dan stabil.
- c. Sensor Infrared: Sensor infrared berfungsi mendeteksi objek atau halangan pada jarak tertentu sehingga dapat digunakan sebagai sistem pendukung navigasi dan keselamatan..
- d. Sensor pH DF Robot: Mengukur tingkat keasaman (pH) air sebagai parameter kualitas perairan.
- e. Deeper Pro+: Deeper Pro+ berfungsi sebagai sensor kedalaman (*depth sounder*) yang digunakan untuk mengukur kedalaman perairan selama kapal beroperasi.
- f. Ultrasonic HC-SR04: Mengukur jarak antara kapal dan objek di depannya menggunakan gelombang ultrasonik.
- g. LiFePO4 Battery: Baterai LiFePO4 berfungsi sebagai media penyimpanan energi yang berasal dari solar panel dan digunakan untuk menyuplai kebutuhan daya sistem.
- h. *Buck Converter*: Menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan perangkat elektronik.
- i. *Node-Red*: Media monitoring yang menampilkan dan memantau data sensor secara *real-time* dari ESP32 ke laptop peneliti.

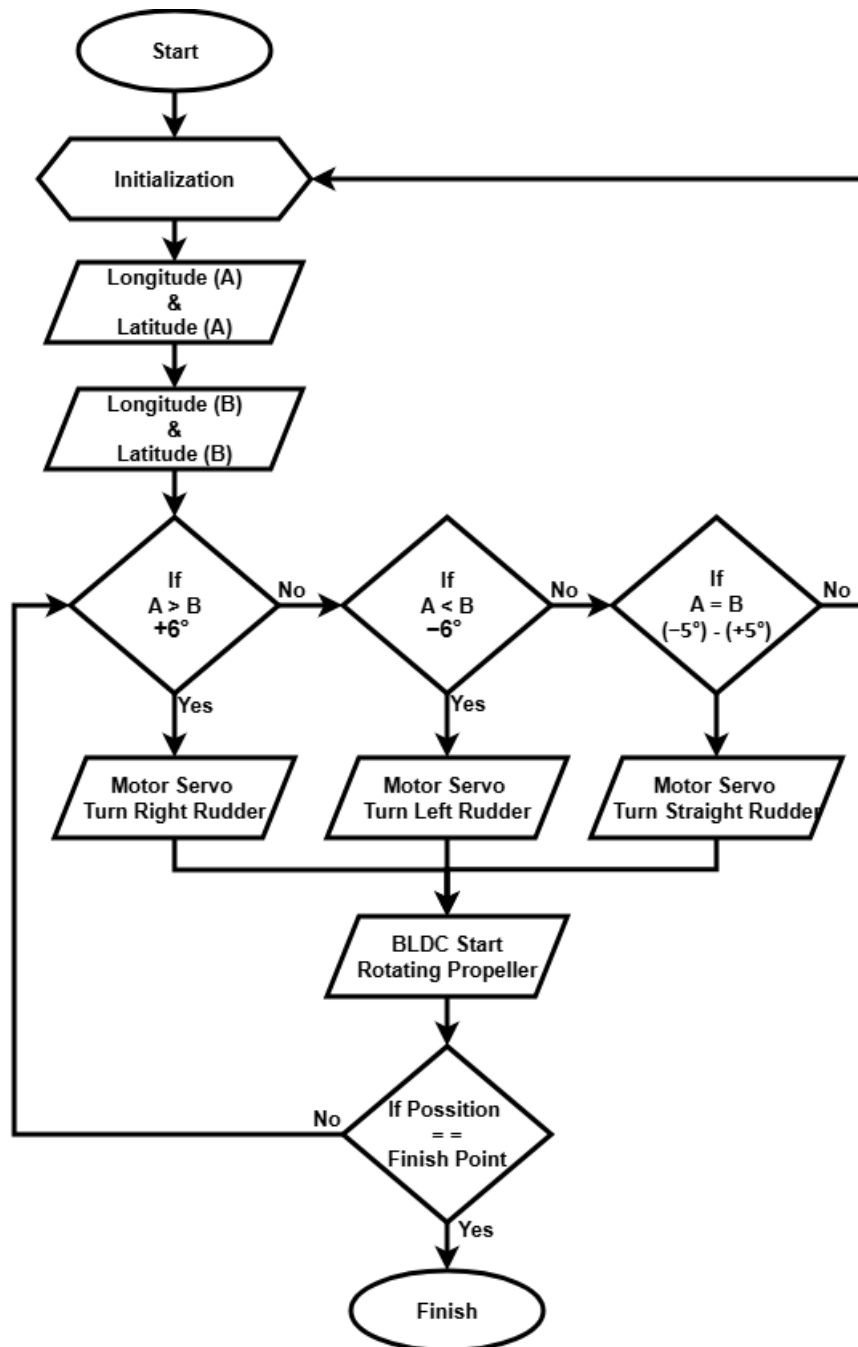


Gambar 3.3 Blok Diagram
Sumber : Dokumen pribadi

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 3.3, berikut adalah potongan blok diagram *capstone* yang dimana pada blok diagram ini fokus kepada sistem navigasi kapal otonom terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi. GPS NEO-6M digunakan untuk memperoleh koordinat posisi kapal berupa koordinat lintang dan bujur, sedangkan kompas GY-26 mendeteksi arah (*heading*) kapal secara *real-time*. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan arah navigasi, kemudian diteruskan ke Arduino Uno sebagai pengendali aktuator. Arduino Uno mengontrol motor servo untuk menggerakkan *rudder* sesuai jalur yang ditentukan dan motor BLDC sebagai penggerak utama kapal melalui *propeller*. Seluruh data operasional kapal dimonitor melalui *Node-Red*, termasuk rekaman lintasan (*route*) yang telah dilalui.

2. Sistem Kerja

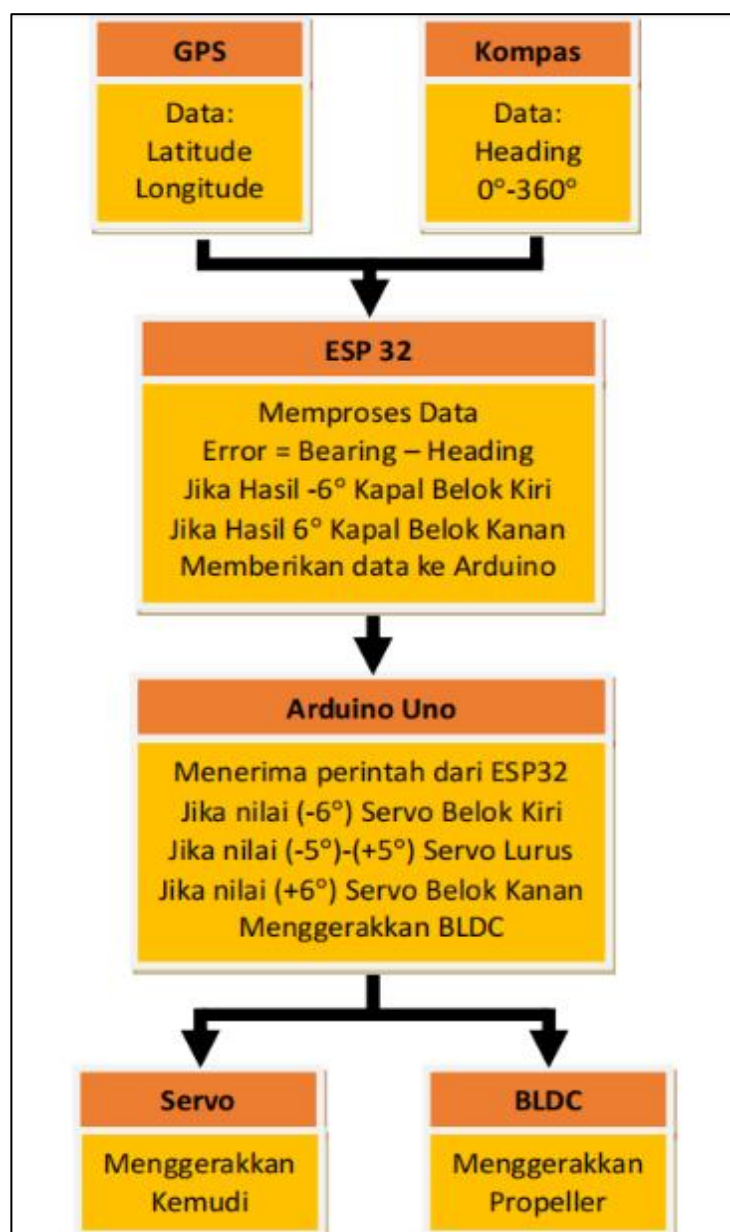
Sistem kerja menjelaskan alur operasi dan interaksi antar komponen dalam sistem yang dirancang. Melalui penjelasan ini, dapat diketahui proses kerja sistem mulai dari penerimaan data oleh sensor, pengolahan data, hingga penyajian informasi yang dihasilkan selama sistem beroperasi.



Gambar 3.4 *Flowchart* sistem kerta waypoint
Sumber : Dokumen pribadi

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat alur kerja sistem *waypoint* yang diawali dari proses start, kemudian sistem melakukan inisialisasi untuk mengaktifkan seluruh komponen yang digunakan, meliputi mikrokontroler, modul GPS Neo-6M, sensor kompas GY-26, motor servo, ESC, dan motor BLDC. Setelah berhasil diinisialisasi, sistem membaca koordinat *longitude*(A) dan *latitude*(B) yang menjadi acuan navigasi, kemudian membaca nilai *heading* kompas pada rentang 0° – 360° mengetahui arah hadap kapal. Selanjutnya sistem melakukan proses set position, yaitu menentukan posisi kapal terhadap *waypoint* tujuan berdasarkan data GPS dan kompas. Setelah posisi diketahui, mikrokontroler membandingkan nilai koordinat yang diperoleh. Apabila nilai A lebih besar dari B ($A > B$), maka motor servo menggerakkan *rudder* ke arah kanan sesuai sudut koreksi yang diperlukan, apabila nilai A lebih kecil dari B ($A < B$), maka motor servo menggerakkan *rudder* ke arah kiri berdasarkan hasil perhitungan arah menuju *waypoint* berikutnya. Setelah sudut *rudder* ditentukan, sistem mengaktifkan motor BLDC sehingga *propeller* berputar dan menghasilkan gaya dorong agar kapal bergerak menuju *waypoint* yang telah ditentukan. Selama kapal bergerak, GPS dan kompas terus memperbarui informasi posisi dan arah kapal untuk memastikan lintasan tetap sesuai dengan jalur navigasi. Sistem kemudian mendeteksi posisi kapal telah mencapai finish point. Jika posisi tujuan telah tercapai, maka proses navigasi selesai (finish). Namun apabila belum mencapai titik tujuan, sistem akan kembali ke proses set position untuk menghitung ulang arah dan melakukan koreksi kemudi hingga kapal berhasil mencapai *waypoint* tujuan secara otomatis.

Setelah menjelaskan alur kerja sistem navigasi *waypoint*, tahapan selanjutnya adalah menjelaskan algoritma manoeuvring atau proses manuver kapal dalam mencapai titik tujuan. Algoritma manoeuvring merupakan proses pengambilan keputusan yang dilakukan oleh mikrokontroler untuk mengendalikan arah gerak kapal berdasarkan data koordinat GPS dan arah hadap (*heading*) yang diperoleh dari sensor kompas.



Gambar 3. 5 *Algorithm Manoeuvring*

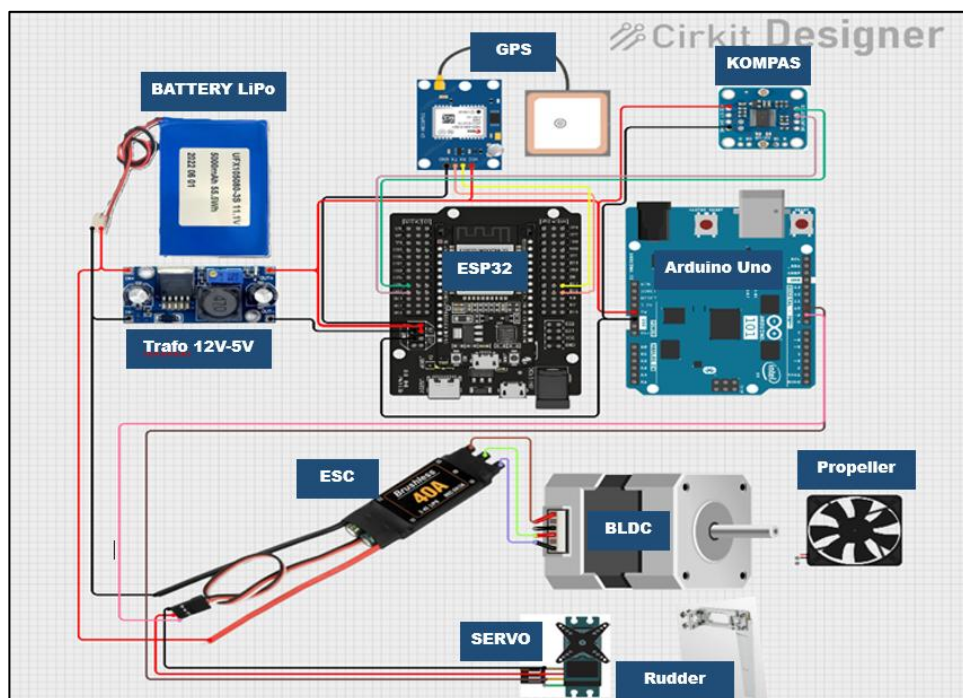
Alur algoritma *manoeuvring* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pada tahap ini, sistem akan menghitung selisih antara arah kapal saat ini dengan arah menuju *waypoint* (*heading error*). Nilai *bearing* kemudian dibandingkan dengan *heading* menggunakan persamaan $Error = Bearing - Heading$ untuk memperoleh nilai penyimpangan arah kapal terhadap jalur yang diinginkan. Berdasarkan nilai *error* yang diperoleh, ESP32 menentukan arah koreksi navigasi. Apabila nilai *error* -6° atau lebih, maka sistem mengirimkan perintah kepada Arduino Uno untuk membelokkan *rudder* ke kiri. Sebaliknya, apabila nilai *error* $+6^\circ$ atau lebih, Arduino Uno akan menggerakkan *servo* ke arah kanan. Jika nilai *error* berada pada rentang -5° hingga $+5^\circ$, *rudder* diposisikan tetap lurus karena kapal dianggap telah menghadap ke arah *waypoint*. Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali aktuator dengan menerima data dari ESP32, kemudian mengatur posisi *servo* sebagai penggerak *rudder* sesuai nilai *error* yang diterima. Selain itu, Arduino Uno juga mengendalikan motor BLDC yang berfungsi sebagai penggerak utama *propeller* sehingga kapal dapat bergerak menuju *waypoint*. Proses ini dilakukan secara berulang (*loop*) selama sistem beroperasi sehingga USV mampu melakukan koreksi arah secara terus-menerus dan mempertahankan lintasan menuju titik tujuan secara otomatis. Proses ini berlangsung hingga posisi kapal berada dalam batas toleransi terhadap *waypoint* yang dituju.

B. Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan tahap penting dalam proses pengembangan sistem, untuk mewujudkan sistem *waypoint* pada kapal tanpa awak sesuai dengan tujuan penelitian. karena pada tahap ini seluruh konsep dan kebutuhan sistem diterjemahkan ke dalam bentuk rancangan teknis yang lebih terstruktur dan siap untuk diimplementasikan. Pada bagian ini dijelaskan berbagai aspek perancangan yang meliputi perancangan *wiring*, desain tampilan, perencanaan navigasi, serta perkiraan kebutuhan daya sistem.

1. Perancangan *Wiring*

Perancangan *wiring* dilakukan untuk menghubungkan seluruh komponen elektronik yang digunakan dalam sistem agar dapat bekerja secara terintegrasi. Pada tahap ini disusun skema rangkaian yang mencakup hubungan antara mikrokontroler, sensor, aktuator, serta sumber daya.



Gambar 3.6 *Wiring* Komponen

Sumber: dokumen pribadi

Gambar 3.6 menunjukkan *wiring diagram* sistem USV yang terdiri dari ESP32 sebagai pengendali utama, Arduino Uno sebagai pengendali aktuator, GPS Neo-6M sebagai sensor posisi, kompas GY-26 sebagai sensor arah, ESC *Seaking* sebagai pengendali motor BLDC, serta servo yang berfungsi sebagai kemudi (*rudder*). Sumber daya sistem berasal dari baterai LiPo yang diturunkan tegangannya menggunakan modul *step-down* 12V–5V untuk menyuplai mikrokontroler dan sensor. Data posisi dan arah yang diperoleh dari GPS dan kompas diproses oleh ESP32, kemudian hasil perhitungan navigasi dikirim ke Arduino Uno untuk mengendalikan kecepatan motor dan sudut kemudi sehingga kapal dapat bergerak menuju *waypoint* secara otomatis.

Untuk memastikan seluruh komponen dapat berkomunikasi dan bekerja sesuai fungsinya, diperlukan konfigurasi koneksi antar perangkat yang tepat. Tabel 3.1 menunjukkan hubungan pin antara sensor, mikrokontroler, aktuator, serta sumber daya yang digunakan pada sistem USV beserta jenis sinyal, tegangan kerja, dan fungsi masing-masing koneksi.

Tabel 3. 1 *Connection Port*

No	Komp onen	Pin Modul	ESP32 / Arduino	Jenis Sinyal	Volt	Deskripsi Fungsi	Warna Kabel
1	GPS Neo-6M	TX	D16 (RX) ESP	Serial	3,3 V	Koordinat posisi kapal	Merah
2	GPS Neo-6M	RX	D17 (TX) ESP	Serial	3,3 V	Konfigurasi dari ESP32	Coklat
3	Kompas GY-26	TX	D26/RX ESP	I2C	5 V	Data arah hadap kapal	Merah
4	Kompas GY-26	RX	D27/TX ESP	I2C	5 V	Clock sinkronisasi komunikasi	Coklat

No	Komponen	Pin Modul	ESP32 / Arduino	Jenis Sinyal	Volt	Deskripsi Fungsi	Warna Kabel
5	ESC Seaking	Signal	Pin 9 (PWM) ARDUINO UNO	PWM	5 V	Mengontrol kecepatan motor BLDC melalui sinyal PWM	Orange
6	ESC Seaking	VCC	Battery 12V	-		Supply power dari battery 12V	Merah
7	Servo (Kemudi/Rudder)	Signal	Pin 10 (PWM)	PWM	5 V	Mengendalikan sudut kemudi kapal berdasarkan arah <i>waypoint</i>	Kuning
8	Servo (Kemudi/Rudder)	VCC	ESC 6V	-	6V	Supply dari ESC Seaking 6V	Merah

Komponen GPS Neo-6M terhubung ke ESP32 melalui komunikasi serial UART menggunakan pin D16 (RX) dan D17 (TX), berfungsi memberikan data koordinat posisi kapal secara *real-time*. Sementara itu, kompas digital GY-26 dihubungkan ke ESP32 melalui pin D26 (RX) dan D27 (TX) untuk mengirimkan data arah hadap (*heading*) yang digunakan sebagai acuan navigasi menuju *waypoint*.

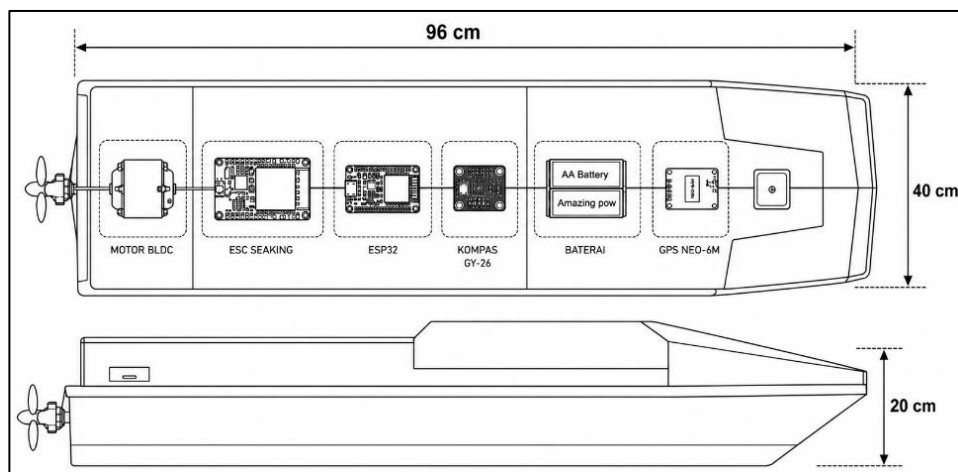
Sistem propulsi dikendalikan oleh ESC *Seaking* yang menerima sinyal PWM dari Arduino Uno melalui pin 9 untuk mengatur kecepatan motor BLDC. ESC memperoleh suplai daya langsung dari baterai 12 V. Selain itu, motor servo kemudi (*rudder*) terhubung ke pin 10 Arduino Uno dan berfungsi mengatur sudut kemudi berdasarkan hasil perhitungan arah tujuan. Servo mendapatkan suplai tegangan 6 V dari BEC pada ESC.

Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu menerima data posisi dan arah kapal, mengolah informasi navigasi, serta mengendalikan motor penggerak secara otomatis menuju *waypoint* yang telah ditentukan.

2. Desain Tampilan

Desain tampilan bertujuan untuk merancang antarmuka pengguna (*user interface*) yang akan digunakan dalam sistem. Tampilan ini dibuat agar mudah dipahami, informatif, dan responsif terhadap input pengguna.

Perancangan ini mencakup tata letak menu, indikator status sistem, serta penyajian data secara visual sehingga memudahkan pengguna dalam memantau dan mengendalikan sistem.



Gambar 3.7 Desain Kerangka Kapal

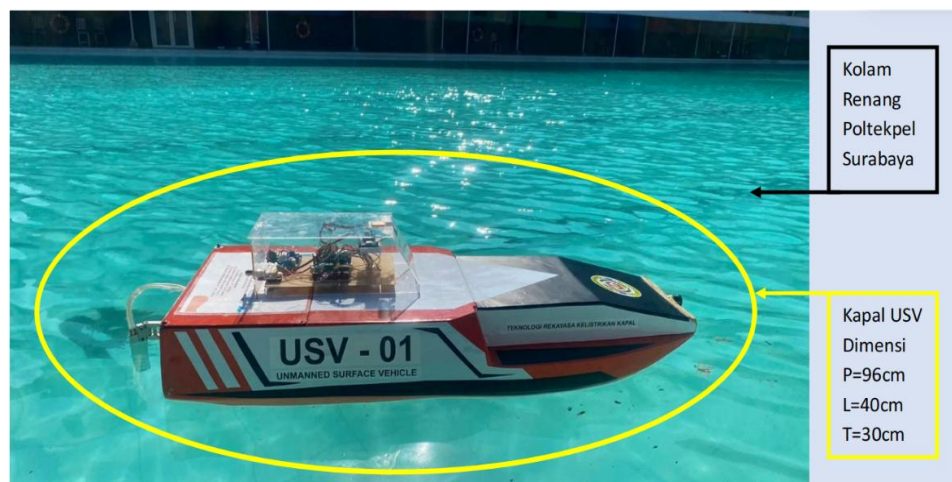
Sumber: <https://images.app.goo.gl/yxjN5FCohD7Fi3pY8>

Desain kapal pada Gambar 3.7 memperlihatkan tata letak komponen utama yang terdiri dari motor BLDC, ESC, ESP32, baterai, dan GPS NEO-6M. Motor BLDC yang dipasang pada bagian buritan berfungsi sebagai sistem propulsi kapal dan dikendalikan oleh ESC.

ESP32 berperan sebagai pusat pengendali sistem yang menghubungkan seluruh perangkat elektronik. Baterai digunakan sebagai

sumber catu daya, sedangkan GPS NEO-6M berfungsi untuk menentukan posisi kapal. Penempatan komponen dirancang secara terpusat dan seimbang untuk meningkatkan stabilitas kapal selama beroperasi.

Untuk memperjelas desain, Peneliti menggunakan kapal yang telah disediakan oleh Prodi D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal Poltekpel Surabaya bertipe *double hull* atau *catamaran* agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal tanpa hambatan ombak atau arus.



Gambar 3.8 *Prototype Catamaran Ship*
Sumber: dokumen pribadi

Gambar 3.8 merupakan kapal *remote control (RC Boat)* hasil dari *project* Prodi D-IV TRKK Politeknik Pelayaran Surabaya. Dari kapal tersebut penulis memiliki ide untuk mengembangkan teknologi *waypoint* yang di implementasikan pada kapal *catamaran*, yang dapat melaksanakan misi patroli tanpa harus melibatkan awak kapal (*human*) diatas kapal.

3. Perencanaan Navigasi

Perencanaan navigasi berfokus pada bagaimana sistem menentukan arah dan pergerakan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor maupun *input* pengguna. Pada tahap ini dirancang alur logika navigasi yang

digunakan untuk menentukan *waypoint*, perubahan arah, serta respon terhadap kondisi lingkungan. Tujuannya adalah agar sistem dapat bergerak secara efektif, stabil, dan sesuai dengan jalur yang telah direncanakan.

a. Penentuan Titik Point

Penentuan titik *waypoint* merupakan tahap penting dalam sistem navigasi kapal untuk menentukan jalur yang akan dilalui selama operasi. *Waypoint* digunakan sebagai titik koordinat acuan yang membantu kapal bergerak menuju tujuan secara terarah dan sesuai rute yang telah direncanakan. Pada tahap ini, koordinat *waypoint* ditentukan berdasarkan lokasi pengujian dan kebutuhan navigasi sistem. Adapun titik-titik *waypoint* yang sudah peneliti siapkan dalam tabel 3.2 dibawah.

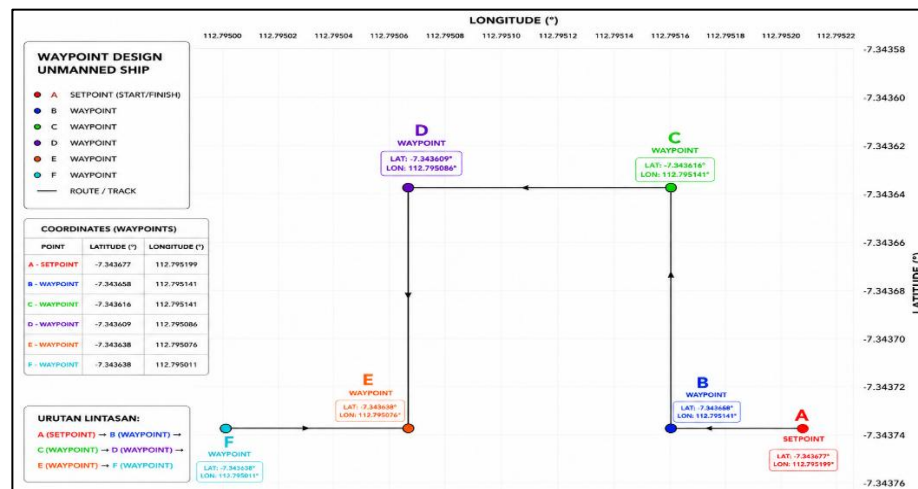
Tabel 3. 2 Titik *Waypoint*

TITIK <i>WAYPOINT</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>
A	-7.343677	112.795199
B	-7.343658	112.795141
C	-7.343616	112.795141
D	-7.343609	112.795086
E	-7.343638	112.795076
F	-7.343638	112.795011

Tabel *waypoint* menunjukkan koordinat lintasan yang digunakan sebagai acuan navigasi kapal selama operasi pengujian. Titik A sampai F ditentukan berdasarkan nilai *latitude* dan *longitude* yang diperoleh dari lokasi pengujian menggunakan alat GPS Neo 6M. Setiap *waypoint* berfungsi sebagai titik tujuan yang harus dilalui secara berurutan oleh kapal untuk membentuk jalur pelayaran yang telah direncanakan. Data koordinat tersebut kemudian digunakan oleh GPS Neo 6M dan Kompas

GY-26 untuk menentukan posisi kapal dan mengarahkan pergerakan kapal menuju *waypoint* berikutnya secara otomatis.

Berdasarkan koordinat *waypoint* yang telah ditentukan, dibuat rancangan lintasan navigasi kapal untuk menggambarkan jalur pergerakan yang akan ditempuh selama pengujian. Rute ini disusun dengan menghubungkan setiap *waypoint* secara berurutan mulai dari titik awal (*setpoint*) hingga titik akhir sesuai koordinat yang telah ditetapkan. Visualisasi lintasan *waypoint* bertujuan untuk memudahkan analisis arah pergerakan kapal serta memastikan sistem navigasi dapat mengikuti jalur yang direncanakan dengan baik. Rancangan lintasan *waypoint* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3. 9 Rute *Waypoint*

Sumber: Dokumentasi Peneliti

Gambar 3.9 menunjukkan rancangan lintasan navigasi kapal tanpa awak berdasarkan enam titik *waypoint* yang telah ditentukan, yaitu titik A sebagai *setpoint* (titik awal), diikuti *waypoint* B, C, D, E, dan F.

Jalur navigasi dibentuk dengan menghubungkan setiap *waypoint* secara berurutan sehingga membentuk lintasan persegi yang kemudian

berakhir pada titik F sebagai tujuan akhir. Panah pada lintasan menunjukkan arah pergerakan kapal selama pengujian. Rancangan lintasan ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem navigasi berbasis GPS dalam mengarahkan kapal mengikuti rute yang telah ditentukan secara otomatis dan akurat.

b. Penentuan Derajat / Kemiringan

Pada sistem *waypoint*, penentuan derajat atau kemiringan arah navigasi dilakukan dengan menggabungkan data posisi dari GPS NEO-6M dan data *heading* dari kompas digital GY-26. GPS NEO-6M berfungsi untuk memperoleh koordinat posisi saat ini (*latitude* dan *longitude*) serta koordinat tujuan (*waypoint*), sedangkan kompas GY-26 digunakan untuk mengetahui arah hadap kapal terhadap utara magnetis. Dengan membandingkan arah tujuan (*bearing*) yang dihitung dari data GPS dengan arah hadap kapal (*heading*) yang diperoleh dari kompas, sistem dapat menentukan besar sudut belokan yang diperlukan agar kapal bergerak menuju *waypoint* yang dituju. (Kolev, 2021)

Perhitungan *bearing* dilakukan menggunakan koordinat posisi saat ini dan koordinat *waypoint* tujuan. *Bearing* merupakan sudut arah dari posisi kapal menuju *waypoint* yang dinyatakan dalam satuan derajat dengan rentang 0° – 360° , dimana 0° menunjukkan arah utara, 90° timur, 180° selatan, dan 270° barat. (OceanCalc, 2026)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung bearing adalah:

$$\theta = \text{atan2}(\sin(\Delta\lambda) \cos(\varphi_2), \cos(\varphi_1) \sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \cos(\Delta\lambda)) \dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

- $\theta = \text{Bearing menuju waypoint } (^{\circ})$
- $\varphi_1 = \text{Latitude posisi saat ini}$
- $\varphi_2 = \text{Latitude waypoint tujuan}$
- $\Delta\lambda = \text{Selisih longitude waypoint dan posisi saat ini}$

Selanjutnya sistem menghitung *error* sudut antara *bearing* dan *heading* kompas menggunakan persamaan:

$$\text{Error; Sudut} = \text{Bearing} - \text{Heading} \dots \dots \dots (3.2)$$

Nilai *error* sudut tersebut digunakan sebagai acuan pengendalian motor servo kemudi. Jika nilai *error* bernilai positif, kapal akan berbelok ke kanan, sedangkan jika bernilai negatif kapal akan berbelok ke kiri hingga *heading* kapal mendekati nilai *bearing waypoint*. Ketika *error* sudut mendekati 0° , maka arah kapal dianggap telah sejajar dengan jalur menuju *waypoint* dan kapal bergerak lurus menuju titik tujuan. (Bathaie, 2021)

Dengan metode ini, sistem *waypoint* mampu melakukan navigasi secara otomatis berdasarkan koordinat GPS dan arah kompas sehingga kapal dapat bergerak menuju *waypoint* yang telah ditentukan dengan tingkat akurasi yang lebih baik. (Rybin, 2022)

c. Penentuan jarak tempuh

Penentuan jarak tempuh pada sistem *waypoint* dilakukan untuk mengetahui jarak antara posisi kapal saat ini dengan *waypoint* tujuan. Data koordinat posisi kapal diperoleh dari modul GPS NEO-6M dalam bentuk *latitude* dan *longitude*. Jarak tersebut digunakan sebagai parameter untuk menentukan kapan kapal telah mencapai *waypoint* serta untuk menghitung sisa perjalanan menuju titik berikutnya.

Pada penelitian ini, lintasan yang dirancang terdiri dari enam titik koordinat, yaitu titik awal (A) dan lima *waypoint* (B, C, D, E, dan F), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.7 rute *waypoint*. Kapal bergerak secara berurutan dari titik A menuju B, kemudian C, D, E, dan berakhir di titik F.

Berdasarkan koordinat *waypoint* yang telah ditentukan, jarak antar titik dapat dihitung menggunakan metode *Haversine* yang mempertimbangkan kelengkungan permukaan bumi. Persamaan *Haversine* yang digunakan adalah:

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\Delta\gamma}{2} \right)} \right) \dots (3.3)$$

Keterangan:

- **d** = jarak antara dua titik (meter)
- **R** = jari-jari bumi (6.371 km)
- **φ_1** = *latitude* titik pertama
- **φ_2** = *latitude* titik kedua
- **$\Delta\varphi$** = selisih *latitude*
- **$\Delta\lambda$** = selisih *longitude*

Dari gambar *waypoint* yang telah dirancang, jarak tempuh total diperoleh dari penjumlahan jarak setiap segmen lintasan sebagai berikut:

- A → B (1,5 Meter)
- B → C (2 Meter)
- C → D (3 Meter)
- D → E (2 Meter)

- $E \rightarrow F$ (2 Meter)
- Total: 10.5 Meter.

Semakin kecil nilai jarak yang terbaca antara posisi kapal dengan *waypoint* tujuan, maka kapal semakin dekat dengan titik tujuan tersebut. Sistem akan menganggap *waypoint* telah tercapai apabila jarak yang tersisa berada di bawah nilai toleransi yang telah ditentukan, misalnya kurang dari 2 meter. Setelah *waypoint* tercapai, sistem secara otomatis mengubah target navigasi menuju *waypoint* berikutnya hingga seluruh lintasan selesai dilalui.

Dengan metode ini, sistem navigasi *waypoint* mampu memonitor jarak tempuh secara *real-time* dan memastikan kapal bergerak mengikuti rute yang telah ditentukan dari titik awal hingga titik akhir secara otomatis.

4. Perkiraan Daya Baterai

Perkiraan daya dilakukan untuk menghitung kebutuhan energi yang diperlukan oleh seluruh komponen sistem selama beroperasi. Analisis ini mencakup konsumsi daya mikrokontroler, sensor, aktuator, dan perangkat pendukung lainnya. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menentukan kapasitas baterai yang sesuai agar sistem dapat bekerja secara optimal dalam durasi operasi yang direncanakan.

a. Konsumsi daya baterai

Analisis konsumsi daya baterai dilakukan untuk mengetahui kebutuhan energi seluruh komponen pada sistem kapal tanpa awak. Perhitungan ini bertujuan memastikan kapasitas baterai yang digunakan

mampu mendukung operasi sistem secara optimal selama pengujian maupun pengoperasian kapal.

Tabel 3. 3 Perhitungan beban Listrik

Sumber: Dokumentasi Peneliti

No	Komponen	Daya aktif P(watt)	Input V(Volt DC)	Ampere/h I(ampere)
1.	GPS Neo 6M	-	+3.3V	-
2.	Kompas	-	+3.3V	-
3.	Mikrokontroller	-	5	-
4.	Motor <i>Brushless</i>	19.8	12	2.8
5.	Motor servo	6	6	1
-	Total Beban	15.8	3-12	3,8

Tabel 3.3 menunjukkan kebutuhan daya dari setiap komponen yang digunakan pada sistem kapal tanpa awak. Berdasarkan data tersebut, motor BLDC memiliki konsumsi daya terbesar karena berfungsi sebagai penggerak utama kapal, sedangkan komponen sensor dan mikrokontroler memerlukan daya yang relatif kecil. Total kebutuhan arus sistem sebesar 3,8 A dengan rentang tegangan kerja 3–12 VDC. Beban daya yang akan dikonsumsi, sesuai tabel 3.3 yaitu sebesar 15.8 *Watt*. Data ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas baterai yang sesuai agar sistem dapat beroperasi secara optimal.

b. Spesifikasi Baterai

Penentuan spesifikasi baterai dilakukan untuk memastikan kebutuhan energi seluruh komponen sistem dapat terpenuhi. Berdasarkan total konsumsi daya sebesar 15,8 *watt*, dipilih baterai berkapasitas 5000 mAh yang dinilai cukup untuk mendukung operasional kapal selama pengujian.

1) Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai Li-Po sesuai spesifikasi yang tertera pada baterai yaitu: 5000 mAh atau 4,05 Ah

2) Daya Baterai

Daya baterai dapat dihitung dengan rumus:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

P = Daya yang diperoleh (*watt*)

V = Tegangan (*volt*)

I = Kuat arus (*ampere*)

Sesuai rumus persamaan 3.4 jadi Daya Baterai:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 11.1V \times 4,05 \text{ Ah} \\ &= 44.955 \text{ watt-hour} \end{aligned}$$

Jadi 44.955 *watt-hour* adalah performa yang dimiliki oleh *battery*.

c. Daya Tahan Baterai

Analisis daya tahan baterai dilakukan untuk mengetahui lama waktu operasional kapal berdasarkan kapasitas baterai dan total konsumsi daya sistem. Perhitungan ini bertujuan untuk memperkirakan durasi penggunaan kapal sehingga dapat diketahui apakah kapasitas baterai yang dipilih mampu mendukung kebutuhan pengoperasian secara optimal.

Daya tahan baterai dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$t = \frac{P \text{ daya baterai}}{P \text{ beban}} \times E \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

$P_{\text{daya baterai}}$ = Daya pada Baterai (*Wh*)

P_{beban} = Daya pada Beban (*watt*)

t = Waktu yang dibutuhkan (*Hour*)

E = Efisiensi baterai 80%

Sesuai rumus persamaan 3.5 daya tahan dapat dilihat sebagai berikut :

$$t = \frac{P_{\text{daya baterai}}}{P_{\text{beban}}} \times E$$

$$= \frac{44.955 \text{ watt hour}}{15,8 \text{ watt}} \times 80\% = 2.276 \text{ H} = 136,5 \text{ menit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, baterai LiPo 12V yang digunakan memiliki daya tahan operasional sekitar 136,5 menit atau setara dengan 2 jam 16,5 menit pada kondisi beban penuh (*full speed*). Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas baterai yang dipilih mampu menyuplai kebutuhan daya seluruh komponen dalam waktu yang cukup untuk mendukung proses pengoperasian kapal secara berkelanjutan.

C. Rencana Pengujian

Rencana pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem navigasi *waypoint* pada USV dalam mencapai titik tujuan secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan memasukkan beberapa koordinat *waypoint* ke dalam sistem, kemudian mengamati pergerakan kapal menuju setiap *waypoint* yang telah ditentukan, data yang dikumpulkan meliputi :

1. Keakurasian Navigasi *Waypoint*
 - a. Sampai Pada *Finish Point*
 - b. Derajat Kemiringan Kemudi

c. Jarak Tempuh

d. Waktu Tempuh

2. Pengujian Baterai.

Daya baterai yang dipakai harus di uji untuk mengetahui durasi dan jangkauan yang bisa di tempuh dalam 1 kali pasang baterai dalam kondisi baterai 80%-95% terisi daya.

3. Pengujian *Software*.

Pengujian *software* dilakukan untuk memastikan sistem komunikasi dan pengendalian antara PC dan kapal USV dapat berjalan dengan baik. Proses ini meliputi koneksi antara perangkat lunak pada PC dengan mikrokontroler yang terdapat pada kapal, serta pengujian komunikasi data yang dikirim dan diterima (*transmitter/receiver*).

4. Pengujian *Hardware*.

a. Perkomponen.

Setiap komponen harus di uji keakurasiannya dan direkam data untuk mendapatkan data uji yang relefan.

- 1) Baterai apakah optimal?
- 2) Gps apakah bekerja secara akurat?
- 3) Kemiringan sudut kemudi apakah sesuai?
- 4) *Speed* yang didapat sesuai dengan *coding program*?
- 5) Mikrokontroller optimal dalam pengolahan data?

b. Seluruh Sistem.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan menentukan metode pengujian, skenario pengujian dan hasil yang akan

dianalisis untuk mengetahui kinerja dan tingkat keberhasilan seluruh komponen yang telah terintegrasi dalam *Prototype* kapal tanpa awak.