

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem monitoring perairan menggunakan kapal remote control berbasis ESP32 dan komunikasi LoRa merupakan salah satu inovasi teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh data kondisi perairan secara real-time. Sistem ini menawarkan solusi yang lebih efektif dalam melakukan pemantauan parameter perairan, seperti kedalaman air dan suhu air, tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung di lokasi. Selain itu, penambahan modul GPS memungkinkan pengguna mengetahui posisi pengambilan data sehingga informasi yang diperoleh menjadi lebih akurat. Sebelum mengembangkan sistem ini lebih lanjut, penting untuk memahami konsep dasar, prinsip kerja, serta teknologi pendukung yang digunakan dalam penelitian. Pada Tabel 2.1 pemahaman terhadap landasan teori dan hasil penelitian terdahulu diperlukan untuk memberikan dasar ilmiah yang kuat, mengidentifikasi perkembangan terhadap teknologi yang telah ada, serta menentukan arah pengembangan sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Jurnal	Metode	Hasil
Rancang Bangun Pengukuran Bawah Permukaan Air dengan Kendali Remote Control dan Komunikasi Wireless NRF24L01, C. Kurniawan, <i>et.al.</i> , Juni 2022 [3].	Merancang sistem pengukuran kedalaman bawah permukaan air menggunakan sensor sonar MB7067 dan mikrokontroler Arduino Uno. Kapal dikendalikan dengan remote control berbasis joystick dan transmisi data menggunakan wireless NRF24L01 dua arah.	Kedalaman maksimum yang terukur adalah 7 meter dengan rata-rata error 22,43%. Jangkauan komunikasi wireless maksimal 10 meter. Kapal mampu bergerak dengan kecepatan 0,6 meter/detik.

Jurnal	Metode	Hasil
Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang dan Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan LPWAN LoRa, R. Hartono, M. A. Murti, and I. Alinursafa, Januari 2022 [4].	Merancang sistem pemantauan ketinggian gelombang dan permukaan air laut menggunakan sensor ultrasonik MB-7383 dan mikrokontroler TTGO LORA32. Data dikirim secara real-time setiap 1 menit melalui jaringan LoRa ke platform IoT Antares.	Sensor MB-7383 memiliki akurasi 98,60% dan presisi 99,72% terhadap permukaan air. Sistem berhasil memantau kenaikan permukaan air laut sebesar 0,505 meter akibat pasang di Pelabuhan Nelayan Cikidang Pangandaran selama 4,5 jam pengamatan.
Perancangan Alat Pengukur Tinggi Gelombang Laut Berbasis Sensor Ultrasonik dan Internet of Things (IoT), M.G. Mansiz, M. M. Danial and A. D. Lestrai, Juli 2025 [5].	Merancang alat pengukur tinggi gelombang menggunakan sensor ultrasonik JSN-SR04T yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 berbasis IoT. Data tinggi gelombang dikirim secara real-time melalui WiFi ke platform Blynk dan disimpan pada modul SD Card dengan penandaan waktu RTC.	Alat mampu mengukur tinggi gelombang maksimum 3,69 cm dan minimum 2,14 cm dengan rata-rata 3,0660 cm. Tingkat akurasi mencapai 99,96% dibandingkan pengukuran manual, dengan deviasi standar sensor 0,345035 dan manual 0,345151.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan sebuah sistem terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pemantauan atau pengawasan serta pengumpulan data otomatis secara real-time [6]. Tidak heran jika sistem monitoring ini sudah banyak digunakan dan diterapkan di berbagai industri serta pembangunan infrastruktur. Data yang diperoleh dari sistem monitoring ini akan diolah dan dianalisis sebagai pendukung dalam menentukan tindakan atau keputusan. Teknologi ini dapat diterapkan untuk berbagai kebutuhan seperti monitoring sistem kelistrikan pada bangunan, monitoring parameter cuaca, monitoring suhu ruangan, monitoring perairan dan masih banyak lagi.

Untuk memastikan bahwa sistem monitoring dapat dioperasikan dan dikendalikan dari jarak jauh, maka diperlukan sebuah sistem pengendali yang dapat mengontrol pergerakan maupun fungsi alat, yaitu remote control

2.2.2 Remote Control

Remote control adalah teknologi yang memungkinkan pengoperasian dan pengendalian perangkat elektronik dan sistem industri dari jarak jauh tanpa harus melakukan kontak fisik [7]. Remote control merupakan sistem komunikasi elektronik yang terdiri dari pemancar (transmitter) dan penerima (receiver) yang bekerja melalui berbagai media transmisi. Teknologi ini tidak hanya memungkinkan pengiriman sinyal kontrol, tetapi juga feedback secara real-time dari perangkat yang sedang dikontrol.



Gambar 2. 1 Remote Control 2.4 GHz

Pada Gambar 2.1 merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengontrol pergerakan melalui radio komunikasi gelombang pada frekuensi 2.4 GHz. Perangkat ini berfungsi untuk mengirimkan perintah seperti bergerak maju, mundur, belok ke kanan, serta belok ke kiri. Penggunaan frekuensi 2.4 GHz ini memiliki keunggulan berupa jangkauan komunikasi yang cukup baik, respon yang cepat, serta ketahanan terhadap gangguan sinyal. Dalam prosesnya, sistem remote control pada kapal monitoring juga perlu didukung oleh sistem navigasi yang dapat mengetahui lokasi perangkat secara akurat menggunakan teknologi Global Positioning System (GPS).

2.2.3 Global Positioning System (GPS)

GPS atau Global Positioning System adalah sistem navigasi berbasis satelit yang dirancang untuk memberikan informasi lokasi, kecepatan, dan waktu secara akurat di mana pun di dunia [8]. Sistem ini terdiri dari sekumpulan jaringan setidaknya 24 satelit yang mengorbit mengelilingi Bumi, berkoordinasi untuk memberikan informasi data lokasi yang akurat kepada perangkat GPS di seluruh dunia.

Sistem GPS bekerja dengan menggunakan prinsip trilaterasi, yaitu metode untuk mengetahui lokasi dengan mengukur jarak dari setidaknya tiga satelit. Berikut adalah cara kerja GPS secara umum [8]:

1. Sinyal dari satelit

Setiap satelit GPS memancarkan sinyal radio yang berisi informasi mengenai lokasi satelit dan waktu ketika sinyal tersebut dikirim.

2. Penerimaan sinyal

Perangkat yang berada di permukaan bumi, seperti ponsel atau sistem navigasi mobil, perlu menerima sinyal dari setidaknya empat satelit supaya bisa menetapkan posisi dengan akurat.

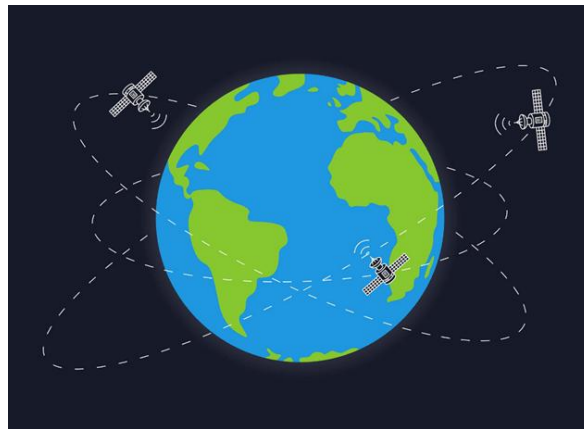
3. Menghitung jarak

Perangkat GPS menghitung jarak ke masing – masing satelit dengan mengukur durasi waktu yang diperlukan sinyal untuk mencapai perangkat.

4. Menentukan lokasi

Dengan menggabungkan data jarak dari beberapa satelit, perangkat GPS dapat menentukan koordinat latitude, longitude, dan elevasi pengguna di peta.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan prinsip kerja Global Positioning System (GPS) dalam menentukan posisi suatu perangkat dengan memanfaatkan sinyal dari beberapa satelit yang mengorbit bumi. Penentuan posisi dilakukan menggunakan metode trilaterasi, yaitu perhitungan jarak antara perangkat penerima GPS dan minimal empat satelit untuk memperoleh koordinat lintang, bujur, serta ketinggian secara akurat. Informasi posisi yang dihasilkan oleh GPS selanjutnya perlu dikirimkan melalui suatu sistem komunikasi agar dapat dipantau dari jarak jauh.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Cara Kerja GPS

Data lokasi yang didapatkan dari GPS kemudian diproses oleh perangkat pengontrol utama, yaitu mikrokontroler, agar dapat digunakan dalam sistem monitoring dan komunikasi data.

2.2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat komputer mini yang dikemas dalam bentuk chip berupa Integrated Circuit (IC). Alat ini dirancang untuk menjalankan tugas atau operasi tertentu seperti menerima sinyal input, mengolahnya, kemudian memberikan sinyal output sesuai dengan program yang telah dimasukkan ke mikrokontroler tersebut [9]. Pada dasarnya, pengendali mikro yang dalam bahasa Inggris disebut dengan Microcontroller ini terdiri dari satu atau lebih inti prosesor (CPU), memory (RAM dan ROM), serta perangkat INPUT dan

Pada Gambar 2.3 ESP32 menyediakan beragam fitur pendukung seperti ADC, DAC, I2C, I2S, SPI, dan UART yang memungkinkan penerapan dalam

berbagai aplikasi elektronika dan Internet of Things (IoT). ESP32 juga mendukung pemrosesan sinyal analog, sensor, serta perangkat digital input/output sehingga cocok digunakan pada sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT.

Modul ini dilengkapi dengan fitur WiFi dan Bluetooth terintegrasi sehingga mendukung komunikasi data secara nirkabel. ESP32 digunakan untuk memproses data dari sensor, mengendalikan perangkat output, serta menjalankan sistem monitoring. Selain itu, ESP32 memiliki banyak pin input/output (GPIO) yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor dan modul pendukung lainnya. Agar data hasil pemrosesan mikrokontroler dapat dikirimkan ke perangkat penerima dengan jarak yang cukup jauh, maka digunakan teknologi komunikasi LoRa.

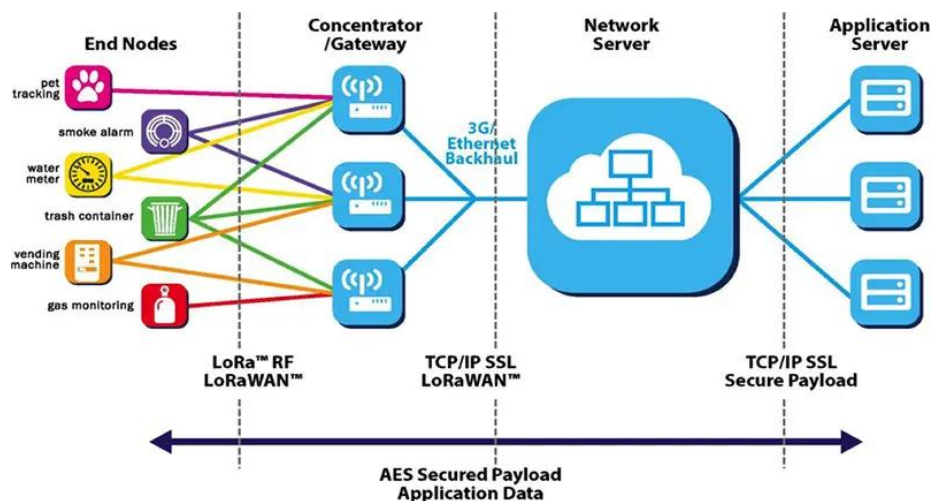
2.2.5 Komunikasi LoRa

LoRa (Long Range) merupakan teknologi frekuensi radio nirkabel yang memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan hemat daya antar perangkat. Sesuai namanya, jangkauan yang luas dapat menciptakan koneksi nirkabel yang mencangkup jarak lebih jauh dibandingkan teknologi konvensional seperti WiFi atau Bluetooth [11]. Dari penjelasan tersebut, tampak bahwa LoRa adalah teknik modulasi, bukan protokol komunikasi, yang berfungsi untuk mengkodekan data pada gelombang radio agar perangkat dapat berkomunikasi dengan efektif. Teknologi nirkabel LoRa digunakan di berbagai bidang aplikasi. Dengan jangkauan yang luas serta penggunaan daya yang rendah, perangkat akhir bisa ditempatkan di berbagai lokasi, baik di dalam gedung maupun di wilayah terpencil, untuk mengirimkan informasi penting ke gateway.

LoRa menjelaskan lapisan fisik pada bagian bawah, sedangkan untuk lapisan jaringan atas tidak ada. LoRaWAN® adalah salah satu dari berbagai protokol yang diciptakan untuk menjelaskan lapisan pada bagian atas jaringan. LoRaWAN merupakan lapisan protokol kontrol akses media (MAC) yang berbasis cloud, tetapi lebih berfungsi sebagai protokol lapisan jaringan untuk mengatur komunikasi antara perangkat akhir dan gateway LPWAN, berperan sebagai protokol pengarah yang dikelola oleh LoRa Alliance. Spesifikasi untuk LoRaWAN

versi 1.0 dirilis pada bulan Juni tahun 2015. Dengan menggabungkan tumpukan protokol LoRaWAN®, kita dapat menciptakan jaringan komunikasi jarak jauh yang komprehensif untuk perangkat IoT.

Pada Gambar 2.4 Arsitektur jaringan LoRaWAN® terdiri dari node LoRa, gateway LoRa, server jaringan, dan server aplikasi. Dalam arsitektur LoRaWAN®, node biasanya berada dalam bentuk bintang dengan gateway yang berfungsi sebagai jembatan yang transparan. Komunikasi ke node akhir umumnya bersifat dua arah, yang menunjukkan bahwa gateway dapat mengumpulkan data dari node akhir, tetapi juga dapat mengirimkan perintah ke node akhir.



Gambar 2. 4 Arsitektur LoRaWAN

- **Node LoRa:** Node akhir merupakan bagian dari jaringan LoRa yang berfungsi untuk pengendalian atau pemantauan. Biasanya, node ini menggunakan sumber daya baterai dan ditempatkan di lokasi yang terpencil. Node akhir mengirimkan informasi ke berbagai gateway di sekitarnya dan melakukan pengiriman data dengan interval tertentu, bukan secara terus – menerus setiap saat.
- **Gateway LoRa:** Gateway berperan untuk menerima informasi dari node akhir LoRa dan mendistribusikannya ke server jaringan. Biasanya, gateway LoRa terdiri dari modul radio LoRa, mikroprosesor, dan metode koneksi internet.

- **Server Jaringan:** Server jaringan bertanggung jawab untuk mengelola keseluruhan jaringan. Server ini menyaring paket data yang sama yang disebabkan oleh beberapa gateway, melakukan pemeriksaan keamanan, mengatur lalu lintas dan rute gateway, mengontrol kecepatan adaptif, serta meneruskan pesan ke server aplikasi.
- **Server Aplikasi:** Server aplikasi bertugas untuk memproses informasi dari server jaringan, menganalisis data dari sensor, memberikan dukungan untuk fungsi seperti tampilan status dan notifikasi waktu nyata, dan secara opsional dapat mengirimkan respons kembali ke node akhir.

2.2.6 Antenna LoRa

Antenna LoRa™ adalah antenna yang dirancang khusus untuk mendukung komunikasi jarak jauh dan hemat daya antar perangkat. Antena LoRa™ beroperasi dengan memanfaatkan teknik modulasi spektrum yang dikenal sebagai Chirp Spread Spectrum (CSS) [12]. Teknik ini memungkinkan penyebaran sinyal pada rentang frekuensi yang luas, sehingga memberikan sensitivitas penerima yang sangat baik dan kemampuan untuk mengatasi gangguan. Antena LoRa™ menggunakan protokol LoRaWAN™ (Long Range Wide Area Network) untuk membangun jaringan komunikasi yang dapat menjangkau area yang luas.



Gambar 2. 5 Antenna Sucker

Pada sistem ini menggunakan dua antenna yang berbeda, pada transmitter menggunakan antenna jenis Sucker dan pada receiver menggunakan antenna jenis Rubber. Pada Gambar 2.5 dan 2.6 merupakan jenis antenna yang digunakan pada sistem.



Gambar 2. 6 Antenna Rubber

Selain sistem komunikasi, sistem ini juga menggunakan beberapa sensor untuk melakukan monitoring pada kondisi lingkungan perairan, salah satunya yaitu sensor ultrasonik JSN-SR04T.

2.2.7 Sensor JSN-SR04T

Sensor JSN-SR04T adalah jenis sensor ultrasonik yang merupakan pengembangan dari sensor ultrasonik jenis HC-SR04. Sensor ini memiliki beberapa keuntungan dibandingkan model sebelumnya, terutama dengan tambahan fitur tahan air yang memungkinkannya beroperasi di lingkungan yang basah atau lembab tanpa kendala [13]. Sensor JSN-SR04T bekerja dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh transduser menuju objek, kemudian pantulannya diterima kembali oleh sensor.

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal yang memerlukan media perambatan, seperti udara, air, maupun benda padat. Hubungan antara kecepatan rambat gelombang, frekuensi, dan panjang gelombang dinyatakan dengan Persamaan (2.1).

$$v = f \times \lambda$$

Persamaan 2.1

Keterangan

v = kecepatan rambat gelombang (m/s)

f = frekuensi gelombang (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

Berdasarkan persamaan tersebut, kecepatan rambat gelombang dipengaruhi oleh frekuensi dan panjang gelombang pada media perambatan. Pada sensor JSN-SR04T, frekuensi ultrasonik yang digunakan adalah sekitar 40 kHz, sedangkan kecepatan rambat bunyi bergantung pada media yang digunakan. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan di dalam air sehingga kecepatan rambat bunyi mengacu pada kecepatan bunyi di air.



Gambar 2. 7 Sensor JSN-SR04T

Pada Gambar 2.7 sensor JSN-SR04T menentukan jarak menggunakan metode Time of Flight (ToF), yaitu dengan mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang ultrasonik untuk merambat dari sensor menuju objek lalu dipantulkan kembali ke sensor. Jarak objek dihitung menggunakan Persamaan (2.2).

$$d = \frac{v \times t}{2} \quad \text{Persamaan 2.2}$$

Keterangan:

d = jarak objek

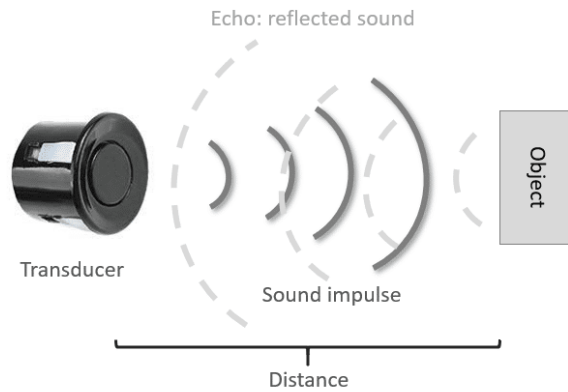
v = kecepatan rambat bunyi pada media

t = waktu tempuh gelombang ultrasonik

Faktor pembagi dua digunakan karena waktu yang diukur merupakan waktu rambat gelombang dari sensor menuju objek dan kembali lagi ke sensor. Dengan mengetahui waktu tempuh gelombang dan kecepatan rambat bunyi pada media, sensor dapat menghitung jarak atau kedalaman objek secara akurat.

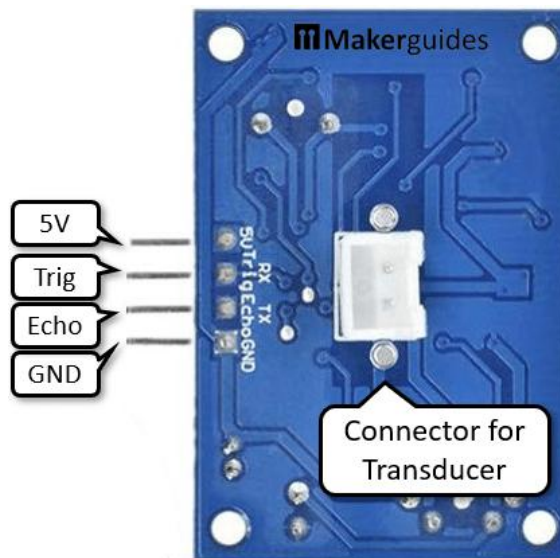
Sensor jarak ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik ini dipantulkan kembali oleh suatu objek dan sensor ultrasonik mendeteksinya. Gambar 2.8 menunjukkan prinsip kerja sensor

ultrasonik menggunakan metode Time of Flight (ToF), yaitu mengukur jarak berdasarkan waktu tempuh gelombang suara dari sensor menuju objek dan kembali lagi sebagai gema (echo) [14].



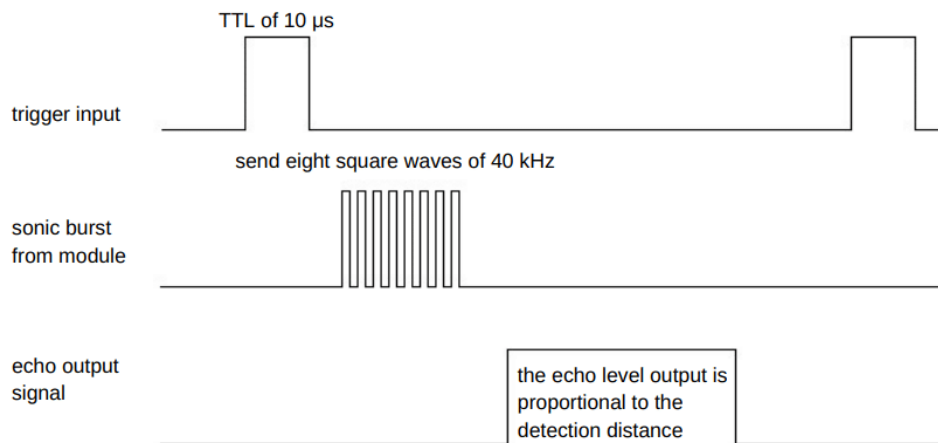
Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Menggunakan Metode Time of Flight (ToF)

Papan breakout sensor JSN-SR04T memiliki empat pin, yaitu 5V, GND, Trig, dan Echo. Pin 5V digunakan sebagai catu daya, sedangkan pin GND berfungsi sebagai ground. Pin Trig digunakan untuk memicu pengiriman pulsa ultrasonik, sementara pin Echo menghasilkan sinyal pulsa dengan durasi yang sebanding dengan waktu tempuh gelombang ultrasonik. Susunan keempat pin pada modul JSN-SR04T ditunjukkan pada Gambar 2.9.



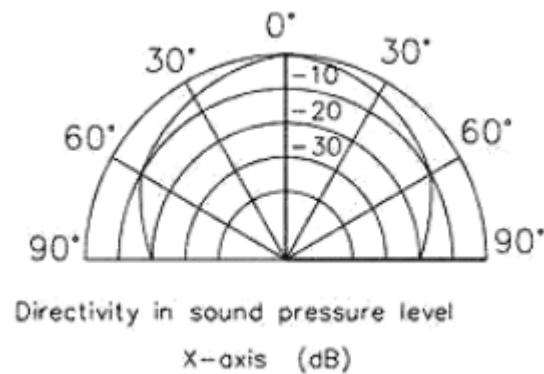
Gambar 2. 9 Susunan Pin Sensor JSN-SR04T

Untuk mengoperasikan sensor JSN-SR04T, pin Trig (Trigger) harus diberi sinyal logika HIGH selama minimal 10 μ s (mikrodetik). Sinyal ini berfungsi sebagai pemicu bagi sensor untuk memancarkan delapan pulsa gelombang ultrasonik (ultrasonic burst) dengan frekuensi sekitar 40 kHz. Gelombang ultrasonik tersebut kemudian merambat menuju objek. Setelah mengenai objek, gelombang akan dipantulkan kembali sebagai echo (gema) dan diterima oleh transduser sensor untuk selanjutnya diproses dalam perhitungan jarak. Diagram timing proses pengukuran sensor ultrasonik JSN-SR04T ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Diagram Pewaktuan JSN-SR04T

Perlu diperhatikan bahwa sensor ultrasonik tidak memancarkan gelombang dalam bentuk berkas yang sangat terfokus seperti laser. Gelombang ultrasonik menyebar ke depan membentuk pola kerucut (cone-shaped beam), sehingga area pancarannya menjadi lebih luas. Oleh karena itu, agar pengukuran jarak dapat dilakukan secara akurat, objek yang diukur sebaiknya memiliki permukaan yang cukup besar, rata, serta mampu memantulkan gelombang ultrasonik dengan baik (bersifat reflektif). Permukaan yang kecil, tidak rata, lunak, atau menyerap gelombang suara dapat menyebabkan pantulan (echo) menjadi lemah atau tidak kembali ke sensor, sehingga hasil pengukuran menjadi kurang akurat atau bahkan gagal terdeteksi. Karakteristik arah pancaran gelombang ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 2.11.

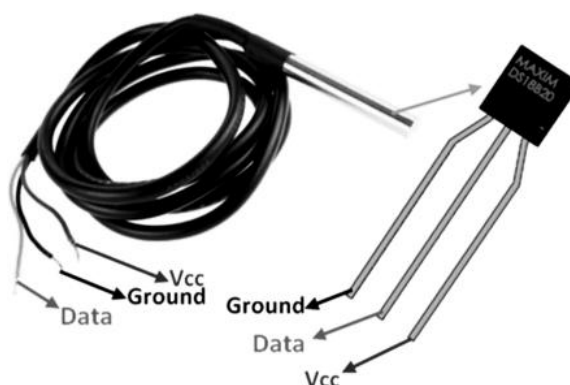


Gambar 2. 11 Arah pancaran JSN-SR04T

Dengan menghitung waktu yang diperlukan gelombang untuk pergi dan kembali, sensor dapat menentukan jarak menggunakan rumus yang telah ditetapkan. Sensor JSN-SR04T ini dapat mengukur jarak dalam rentang 25 hingga 600 cm. Selain memantau kedalaman permukaan air, sistem juga dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengetahui kondisi suhu air menggunakan sensor DS18B20.

2.2.8 Sensor DS18B20

DS18B20 merupakan sensor suhu digital tahan air yang diproduksi oleh Dallas Semiconductor dan Maxim Integrated Corporation dalam versi tahan air. Sensor ini menggunakan teknologi 1-wire dan memiliki akurasi 12 bit dari konverter digital ke analog yang terintegrasi. Cara kerjanya didasarkan pada pengubahan suhu menjadi format digital secara langsung dan beroperasi dalam mode daya parasit [15]. Pengoperasian sensor ini didasarkan pada protokol komunikasi serial 1-wire dan menyimpan nomor kode serial unik 64-bit.



Gambar 2. 12 Sensor DS18B20

Pada Gambar 2.8 sensor DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang menggunakan 1-wire, sensor ini hanya memerlukan satu pin data dan pin GND untuk dihubungkan ke mikrokontroler. Sensor ini dapat mengukur suhu pada rentang -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dengan supply daya 3V hingga 5,5V dengan konsumsi arus maksimum 1 mA. Kelebihan sensor DS18B20 terletak pada kemudahan dalam penggunaannya, kemampuan untuk melakukan pengukuran pada beberapa titik lokasi hanya menggunakan satu jalur data.

- **Pin 1 GND (Ground):** Pin ini mengacu pada koneksi ground dalam operasi mode parasit. Kabel hitam pada DS18B20 melambangkan pin ground.
- **Pin 2 VCC:** Pin ini menunjukkan sumber daya positif dengan tegangan antara 3V hingga 5,5V untuk mengaktifkan sensor. Kabel berwarna merah di DS18B20 menunjukkan pin VCC.
- **Pin 3 DQ atau DATA:** Pin ini mengacu pada pin output yang dapat menghasilkan nilai suhu digital yang dapat dibaca menggunakan protokol antarmuka 1-wire. Pin ini merujuk pada pin keluaran yang mampu menghasilkan nilai suhu digital yang dapat diakses melalui protokol antarmuka 1-wire. Pin ini dihubungkan ke pin digital pada Arduino atau mikrokontroler untuk antarmuka. Pin ini juga menyuplai daya ke sensor saat beroperasi dalam mode daya parasit. Kabel kuning di DS18B20 menunjukkan pin data.

Selain monitoring kedalaman dan suhu, sistem juga dilengkapi dengan fitur navigasi berbasis satelit untuk mengetahui posisi kapal secara real-time dengan menggunakan modul GPS NEO-7M.

2.2.9 Modul GPS NEO-7M

Modul GPS (Global Positioning System) merupakan alat yang berfungsi untuk mengetahui lokasi geografis dengan menangkap dan memproses sinyal dari satelit navigasi. Modul GPS NEO-7M digunakan dalam sistem untuk menentukan lokasi kapal dengan memberikan data koordinat lintang dan bujur secara real-time. Pada Gambar 2.9 merupakan modul Global Navigation Satellite System (GNSS) yang menggunakan teknologi u-blox 7 dan mendukung sistem navigasi GPS serta

sistem lainnya. Modul ini dirancang dengan tingkat sensitivitas yang tinggi, waktu pengambilan sinyal yang cepat, dan tetap menjaga penggunaan konsumsi daya yang rendah.



Gambar 2. 13 Modul GPS NEO-7M

NEO-7M dioptimalkan untuk aplikasi dengan biaya terjangkau tanpa mengurangi kinerja utama. Desain arsitektur RF (Radio Frekuensi) yang andal serta fitur untuk mengurangi gangguan membuat modul ini dapat beroperasi dengan stabil di berbagai kondisi lingkungan [16]. Data lokasi yang diperoleh dari modul GPS, sensor JSN-SR04T dan sensor DS18B20 kemudian dikirim dengan menggunakan sistem komunikasi nirkabel jarak jauh melalui modul LoRa E220-900T22D.

2.2.10 LoRa E220-900T22D

Modul LoRa E220-900T22D merupakan sebuah perangkat komunikasi nirkabel berbasis antarmuka pengiriman data Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) yang memanfaatkan teknologi Long Range (LoRa) terbaru dengan chip LLCC68. Modul ini menawarkan berbagai cara transmisi dan beroperasi dalam rentang frekuensi 850,125 sampai 930,125 MHz, dengan frekuensi kerja standar di 873,125 MHz. Sinyal keluaran modul ini menggunakan level TTL dan dapat bekerja dengan sistem logika yang beroperasi pada tegangan 3,3V dan 5V, sehingga mudah untuk dihubungkan dengan berbagai jenis mikrokontroler [17].

Selain itu, modul E220-900T22D mendukung fitur air wake-up, carrier monitoring, kunci komunikasi (enkripsi), serta pengaturan panjang sub-paket data untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan dalam komunikasi. Dukungan dari beberapa fitur tersebut menjadikan modul ini ideal untuk aplikasi komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah.

Pada Gambar 2.10 merupakan modul LoRa E220-900T22D yang berfungsi sebagai sarana untuk komunikasi nirkabel jarak jauh berbasis teknologi LoRa. Modul ini memiliki peranan penting dalam proses pengiriman dan penerimaan informasi antara perangkat di dalam sistem yang telah dirancang. Kinerja dari modul komunikasi LoRa sangat dipengaruhi oleh jenis antenna yang digunakan. Oleh karena itu, digunakan antenna sebagai pendukung transmisi dan penerimaan sinyal.



Gambar 2. 14 Modul LoRa E220-900T22D

Data hasil monitoring yang diterima melalui modul LoRa kemudian ditampilkan pada display LCD (Liquid Crystal Display) agar pengguna dapat memantau dengan lebih mudah.

2.2.11 Display LCD (Liquid Crystal Display)

Pada Gambar 2.11 merupakan layar yang terdiri dari 20 karakter x 4 baris yang menggunakan antarmuka I2C sehingga dapat menghemat penggunaan pin

(hanya memerlukan 2 pin data: SDA dan SCL) pada mikrokontroler, layar ini biasanya bekerja pada tegangan 5V, dilengkapi dengan backlight warna biru yang bisa diatur, dan memiliki driver IC seperti PC8574 atau sejenisnya. Dimensi fisik LCD ini sekitar 98x60mm dan area tampilan nyata 77x25.2mm, sangat praktis untuk proyek elektronika karena kabel yang digunakan lebih sedikit [18].



Gambar 2. 15 Modul LCD 20 x 4 I2C

Untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara mandiri dan stabil, diperlukan pengelolaan sumber daya yang baik. Pada sistem ini, digunakan modul charger, modul step-down, dan baterai Li-Ion untuk mengatur proses penyimpanan, pengisian, serta distribusi daya ke seluruh komponen dalam sistem.

2.2.12 Sistem Catu Daya

Sistem catu daya ini akan menjelaskan beberapa komponen utama yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada sistem, terdapat modul charger, modul step-down, dan baterai Li-Ion. Beberapa komponen tersebut memiliki peran dalam proses penyimpanan, pengisian, pengaturan, dan pendistribusian daya agar seluruh sistem dapat beroperasi secara stabil dan optimal.

1. Baterai Li-Ion

Pada Gambar 2.12 merupakan baterai yang banyak digunakan dalam perangkat elektronik portabel. Baterai ini digunakan untuk membantu menyuplai kebutuhan daya untuk sistem transmitter dan receiver. Agar

proses pengisian daya pada baterai dapat berlangsung dengan aman dan stabil, maka digunakan modul charger sebagai pengatur pengisian baterai



Gambar 2. 16 Baterai Li-Ion (Lithium-Ion)

2. Modul Charger TP-4056



Gambar 2. 17 Modul Charger TP-4056

Pada Gambar 2.13 merupakan modul charger tipe TP-4056 yang digunakan untuk mengatur proses pengisian daya baterai agar lebih aman dan sesuai dengan karakteristik baterai yang digunakan. Modul ini membantu menjaga kestabilan pengisian dan melindungi baterai dari kemungkinan overcharge. Tegangan keluaran dari sistem catu daya perlu disesuaikan dengan kebutuhan masing – masing perangkat menggunakan modul step-down.

3. Modul Step-Down

Pada Gambar 2.14 merupakan rangkaian elektronika yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari sumber daya ke level tegangan yang lebih

rendah sesuai dengan kebutuhan perangkat. Modul ini digunakan pada transmitter dan receiver agar sistem dapat bekerja dengan aman dan stabil. Seluruh proses pemrograman dan kontrol pada sistem ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE.



Gambar 2. 18 Modul Step-Down XL4015

2.2.13 Analisis Perhitungan

Analisis perhitungan digunakan sebagai dasar untuk menentukan besaran parameter suatu sistem berdasarkan persamaan matematis yang sesuai. Melalui analisis perhitungan, hubungan antara parameter listrik dapat dijelaskan secara kuantitatif sehingga memberikan gambaran mengenai karakteristik konsumsi daya pada sistem. Pendekatan kuantitatif ini diperlukan untuk memberikan gambaran terkait kebutuhan daya sistem secara efektif dengan menggunakan rumus berikut:

$$P = V \times I \qquad \text{persamaan 2.3}$$

Keterangan:

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan kerja komponen (Volt)

I = arus kerja komponen (Ampere)

Pada persamaan (2.3) menunjukkan bahwa daya listrik diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan dan arus yang digunakan oleh suatu komponen. Semakin besar nilai tegangan atau arus yang dikonsumsi, maka semakin besar pula daya listrik yang dibutuhkan oleh komponen tersebut. Dalam penelitian ini, persamaan (2-1) digunakan sebagai dasar untuk menghitung daya operasi pada setiap subsistem, yaitu sistem operasi kapal, perangkat transmitter, dan perangkat receiver.

Berdasarkan prinsip kekekalan energi, energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah dari satu bentuk energi ke bentuk lainnya. Pada sistem kelistrikan, prinsip ini menunjukkan bahwa daya yang disalurkan oleh sumber energi sama dengan daya yang diterima oleh beban, dengan mengabaikan rugi-rugi pada sistem. Secara matematis, prinsip kekekalan daya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2$$

Persamaan 2.4

Keterangan:

P_1 = daya yang disuplai oleh sumber (Watt)

P_2 = daya yang diterima oleh beban (Watt)

Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa pada kondisi ideal, daya yang diberikan oleh sumber sama dengan daya yang diterima oleh beban. Namun, pada sistem nyata dapat terjadi rugi-rugi daya akibat hambatan penghantar, konverter, maupun komponen elektronik lainnya sehingga daya yang diterima beban dapat lebih kecil daripada daya yang disuplai. Dalam penelitian ini, prinsip kekekalan daya digunakan sebagai dasar dalam menganalisis distribusi daya pada sistem operasi kapal, perangkat transmitter, dan perangkat receiver.

Selain itu, analisis perhitungan juga digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem melalui perhitungan persentase error dan akurasi hasil pengukuran. Persentase error digunakan untuk mengetahui tingkat penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai referensi, sedangkan nilai akurasi menunjukkan tingkat kedekatan hasil pengukuran dengan nilai acuan. Kedua perhitungan tersebut menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right| \times 100\%$$

Persamaan 2.5

Keterangan:

x_i = Nilai Aktual

$\hat{x}_i$ = Nilai Hasil Pengukuran

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%)$$

Persamaan 2.6

Persamaan (2.5) digunakan untuk menghitung persentase error dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap nilai aktual atau nilai referensi. Semakin kecil nilai persentase error, maka semakin kecil penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai acuan. Selanjutnya, berdasarkan Persamaan (2.6), nilai akurasi diperoleh dari selisih antara 100% dan persentase error. Semakin besar nilai akurasi yang diperoleh, maka semakin tinggi tingkat ketelitian hasil pengukuran sistem terhadap nilai referensi.

2.2.14 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram dan mengunggah kode pada papan Arduino. Ini merupakan alat utama yang digunakan oleh para developer, pemula, dan penggemar elektronika untuk dapat mengembangkan berbagai macam proyek yang berbasis Arduino [19]. Pada Gambar 2.15 melalui Software Arduino IDE, pengguna dapat menulis, mengedit, serta mengupload program atau sketch pada papan mikrokontroler secara cepat. Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE adalah C/C++ yang dibuat lebih sederhana, sehingga memudahkan pengguna pada saat menulis dan mengembangkan kode program. Arduino IDE juga dapat digunakan untuk memprogram ESP32 dengan menambahkan board manager dan pustaka yang sesuai, sehingga memungkinkan seluruh fungsi sistem dapat dikembangkan dalam satu lingkungan pemrograman. Dengan menggunakan Arduino IDE, proses pengembangan perangkat lunak pada sistem ini menjadi lebih terstruktur.



Gambar 2. 19 Logo Software Arduino IDE