

Sistem Penghindaran Tabrakan Dan Halangan Solar Autonomous Boat Sebagai Bagian Dari Teknologi Swarm USV

1st Faizah Azmi Jannati
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

faizahajn@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

denny.darlis@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartaman
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

arishartaman@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sistem penghindaran tabrakan merupakan elemen krusial dalam mendukung keberhasilan operasional Solar Autonomous Boat, khususnya ketika kapal ini beroperasi secara kolaboratif dalam kerangka teknologi Swarm Unmanned Surface Vehicle (USV). Tugas akhir ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi rintangan berbasis sensor ultrasonik JSN-SR04T yang dipasang di empat sisi kapal, yaitu depan, belakang, kiri, dan kanan. Keempat sensor ini terhubung ke mikrokontroler TTGO ESP32 LoRa yang berfungsi untuk memproses data jarak secara real-time serta mengirimkannya melalui jaringan LoRa, sehingga memungkinkan sistem navigasi otonom untuk mengambil keputusan secara cepat dan akurat. Pengujian sistem dilakukan di Danau Situ Techno dengan menggunakan 50 skenario jalur yang bervariasi. Dari hasil pengujian, sistem mampu mencapai tingkat keberhasilan sebesar 94% dalam mendeteksi dan menghindari tabrakan dengan berbagai jenis rintangan. Capaian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang cukup efektif dan andal dalam mendukung manuver otonom kapal di lingkungan perairan terbuka, sekaligus menjadi langkah awal yang menjanjikan untuk pengembangan lebih lanjut di bidang kendaraan laut tanpa awak.

Kata kunci — autonomous boat, USV, sensor ultrasonik, LoRa, navigasi otonom, swarm.

I. PENDAHULUAN

Danau merupakan ekosistem perairan darat yang penting bagi kehidupan manusia, berfungsi sebagai sumber air, irigasi, perikanan, transportasi, hingga pariwisata. Namun, aktivitas manusia seperti pembuangan limbah dan pertanian telah menurunkan kualitas air di banyak danau Indonesia, memicu eutrofikasi dan penurunan kadar oksigen terlarut.

Untuk menjawab tantangan tersebut, *Unmanned Surface Vehicle (USV)* hadir sebagai solusi pemantauan otomatis yang mampu mengumpulkan data kualitas air dan udara secara efisien. Dilengkapi sistem penghindaran tabrakan berbasis sensor ultrasonik yang mendeteksi halangan pada jarak ≤ 3 meter, USV dapat bermanuver secara mandiri, meningkatkan keselamatan, efektivitas, dan kontinuitas pemantauan lingkungan perairan.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang sistem penghindaran tabrakan dan halangan pada *solar autonomous boat* sebagai bagian dari teknologi *swarm USV*.

2. Mengimplementasikan sistem penghindaran tabrakan dan halangan pada *Solar Autonomous Boat* dalam rangka mendukung kinerja teknologi *swarm USV*.
3. Menguji sistem penghindaran tabrakan dan halangan pada *solar autonomous boat* untuk memastikan efektivitasnya dalam lingkungan perairan yang dinamis

II. KAJIAN TEORI

A. Solar Autonomous Boat

solar autonomous boat atau ASV adalah kapal tanpa awak yang dapat bergerak otomatis sesuai program tanpa kendali langsung manusia. Kapal ini memanfaatkan tenaga surya sehingga mampu beroperasi lebih lama dan ramah lingkungan.

B. Unmanned Surface Vehicle (USV)

USV adalah kapal tanpa awak yang bergerak di permukaan air dengan mengikuti *waypoint* dari *Ground Control Station*. Data posisi dan kondisi kapal dikirim kembali secara *real-time* melalui telemetri, sehingga operator tetap dapat memantau dari jarak jauh.

C. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T



GAMBAR 1
Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

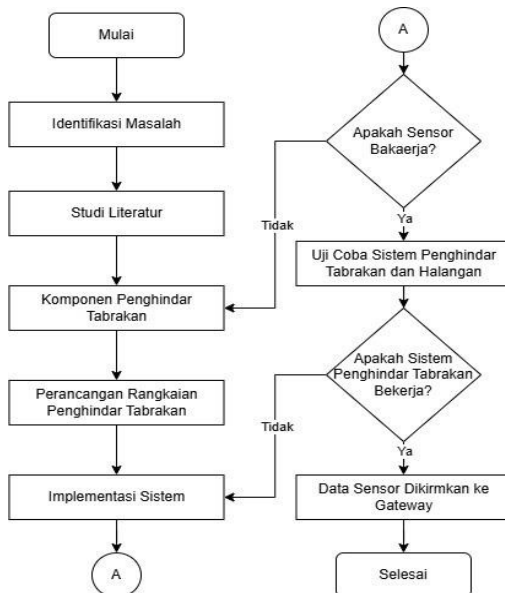
Sensor ini mendeteksi jarak objek dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantulannya. Desainnya tahan air, sehingga cocok untuk sistem penghindaran tabrakan di lingkungan perairan.

D. TTGO ESP32 LoRa

Papan ESP32 ini dilengkapi modul LoRa untuk komunikasi jarak jauh yang hemat daya, sekaligus mendukung Wi-Fi dan Bluetooth. Komponen ini banyak digunakan pada sistem kendali dan pengiriman data pada kapal otonom.

III. METODE

A. Flowchart Tahapan Perancangan Sistem



GAMBAR 2

Flowchart Tahapan Perancangan Sistem

Penelitian ini dilakukan untuk memastikan sistem penghindaran dan tabrakan optimal melalui tahapan berikut:

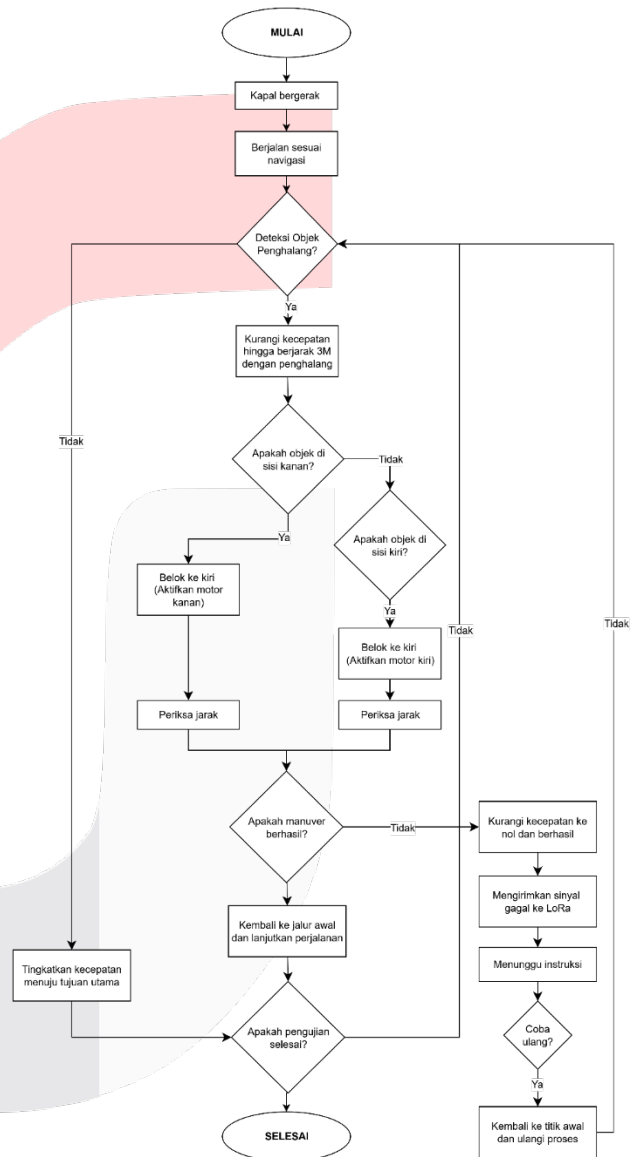
1. Identifikasi masalah mengenai potensi tabrakan antar kapal dalam swarm maupun dengan benda di perairan, sehingga diperlukan sistem deteksi dan penghindaran halangan.
2. Studi literatur untuk memilih teknologi pendukung seperti sensor ultrasonik, algoritma pengendalian arah, metode pengurangan kecepatan, serta pemanfaatan energi solar sebagai sumber daya utama.
3. Pemilihan komponen penghinder tabrakan meliputi sensor ultrasonik, motor pengendali arah, mikrokontroler untuk pemrosesan data, serta modul komunikasi untuk koordinasi antar kapal.
4. Perancangan rangkaian penghinder tabrakan dengan menempatkan sensor di bagian depan, belakang, kanan, dan kiri kapal untuk mendeteksi halangan dan mengatur gerakan kapal.
5. Implementasi sistem pada kapal, mencakup pemasangan sensor, motor, dan mikrokontroler yang telah dikalibrasi agar mendukung deteksi dan penghindaran halangan.
6. Pengujian sensor untuk memastikan perangkat berfungsi dengan baik, diikuti dengan

pengujian sistem penghindar tabrakan untuk memastikan kapal mampu menghindari halangan.

7. Pengiriman data sensor ke *gateway* untuk analisis lebih lanjut dan peningkatan koordinasi antar kapal dalam swarm.

Setiap tahap mencakup evaluasi untuk memastikan keberhasilan atau melakukan perbaikan jika ditemukan kendala.

B. Flowchart Skenario Sistem



GAMBAR 3

Flowchart Tahapan Perancangan Sistem

Berikut adalah urutan singkat cara kerja sistem berdasarkan diagram alur:

1. Inisialisasi Navigasi Kapal, sistem memulai pergerakan kapal dan mengikuti jalur navigasi yang telah ditentukan.

2. Deteksi Objek Penghalang, sistem secara berkala memeriksa keberadaan objek penghalang di jalur kapal menggunakan sensor jarak.
3. Pengurangan Kecepatan, jika terdeteksi penghalang, kapal akan mengurangi kecepatan hingga berjarak 3 meter dari objek.
4. Pemeriksaan Arah Objek, sistem memeriksa apakah objek berada di sisi kanan atau kiri kapal untuk menentukan arah manuver.
5. Manuver Menghindar, kapal melakukan belok ke kiri dengan mengaktifkan motor kanan atau kiri, sesuai posisi objek.
6. Pemeriksaan Jarak Ulang, setelah manuver, sistem memeriksa kembali jarak untuk memastikan tidak ada lagi penghalang.
7. Penilaian Keberhasilan Manuver, jika manuver berhasil, kapal kembali ke jalur semula dan melanjutkan perjalanan.
8. Tindakan Jika Gagal, jika manuver gagal, kapal menghentikan gerakan, mengirimkan sinyal kegagalan melalui LoRa, dan menunggu instruksi lebih lanjut.
9. Pengulangan Proses, kapal dapat mencoba ulang manuver atau kembali ke titik awal untuk mengulangi proses.
10. Pengujian Selesai, jika pengujian telah selesai, kapal menghentikan sistem dan proses dinyatakan selesai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

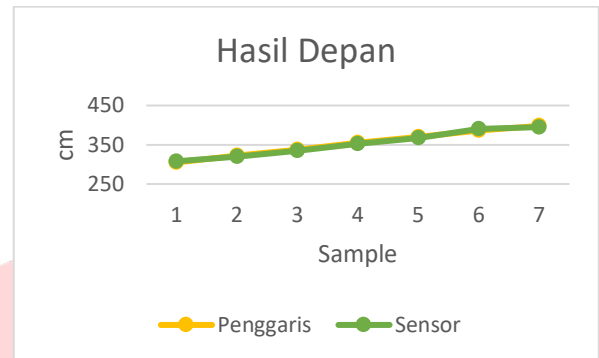
Sistem ini menggunakan empat sensor ultrasonik JSN-SR04T yang dipasang di depan, belakang, kiri, dan kanan kapal untuk mendeteksi jarak objek di sekelilingnya. Sensor-sensor tersebut terhubung ke mikrokontroler TTGO ESP32 LoRa yang berfungsi sebagai pemroses data dan pengirim sinyal secara nirkabel melalui komunikasi LoRa, yang kemudian diterima oleh LilyGO T-Beam v1.1 sebagai penerima data dan pemantau lokasi secara real-time dalam sistem swarm. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi objek serta mengarahkan kapal secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor, dengan klasifikasi jarak yang ditampilkan pada Tabel berikut.

TABEL 1
Zona Jarak Sistem

Zona	Rentang Jarak (cm)	Keterangan
Bahaya	≤ 100	Objek sangat dekat – risiko tinggi tabrakan
Waspada	101 – 300	Objek cukup dekat – perlu perhatian
Aman	301 – 600	Jarak aman – tidak ada halangan langsung
Jauh	601 – 1000	Objek jauh – sistem tetap waspada
Tidak Terbaca	> 1000 atau error	Sensor gagal membaca atau tidak ada objek

Klasifikasi ini digunakan untuk membantu sistem dalam mengambil keputusan, seperti memperlambat laju kapal, melakukan manuver belok untuk menghindari tabrakan, atau mengirim sinyal kegagalan jika jalur tidak memungkinkan untuk dilalui.

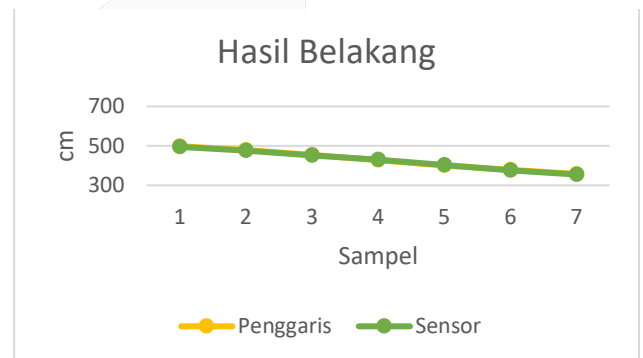
A. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Depan



GAMBAR 4
Hasil Pengujian Depan

Hasil pengukuran penggaris dan sensor hampir sama dengan error stabil sekitar 0,8–1,2%. Sensor depan bekerja cukup akurat.

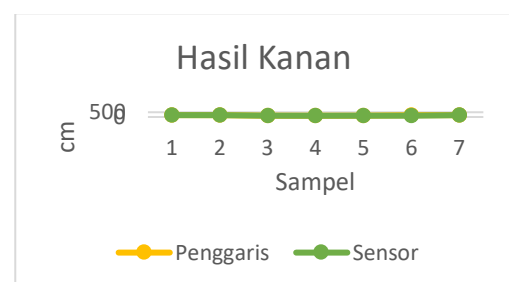
B. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Belakang



GAMBAR 5
Hasil Pengujian Belakang

Memiliki error paling rendah (0,5–0,8%) dan hasil sensor sangat mendekati penggaris. Sensor belakang paling konsisten.

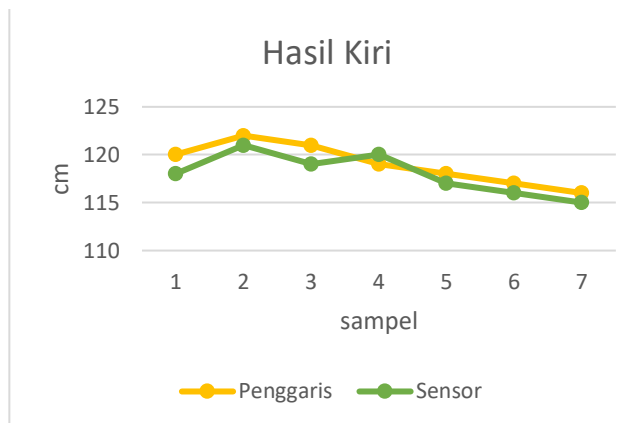
C. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Kanan



GAMBAR 6
Hasil Pengujian Kanan

Menunjukkan variasi terbesar, dengan error hingga $\pm 2,1\%$. Perlu perhatian lebih karena hasilnya paling fluktuatif.

D. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Kiri



GAMBAR 7
Hasil Pengujian Kiri

Hasil cukup stabil dengan error sekitar 0,8–1,6%. Ada sedikit fluktuasi pada beberapa sampel.

E. Pengujian Sensor Ultrasonik Solar Autonomous Boat

TABEL 2
Zona Jarak Sistem

Sde (cm)	Sbe (cm)	Ska (cm)	Ski (cm)	Mka	Mki	Gerak	Ket
308	495	195	118	54%	41%	Belok Kanan	Berhasil
320	475	178	121	68%	41%	Belok Kanan	Berhasil
335	452	152	119	41%	54%	Belok Kiri	Berhasil
352	430	130	120	54%	54%	Lurus	Berhasil
368	402	148	117	68%	54%	Belok Kanan	Berhasil
390	375	165	116	41%	68%	Belok Kiri	Berhasil
395	355	192	115	54%	68%	Belok Kiri	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat menentukan arah gerak dengan baik. Kapal belok kanan saat motor kanan lebih besar, belok kiri saat motor kiri lebih besar, dan bergerak lurus saat keduanya seimbang. Semua percobaan berhasil, menandakan sistem bekerja akurat dan responsif.

IV. KESIMPULAN

Penerapan sistem penghindaran tabrakan pada *solar autonomous boat* berhasil meningkatkan kemampuan navigasi mandiri dan keselamatan operasi. Pengujian menunjukkan sensor ultrasonik memiliki akurasi baik dengan error kecil di keempat sisi, memungkinkan kapal merespons halangan secara tepat dengan manuver belok atau berhenti.

Integrasi TTGO ESP32 LoRa mendukung pemrosesan data real-time dan komunikasi jarak jauh melalui LoRa, sehingga data dapat dipantau secara langsung. Sistem ini terbukti efektif, andal, serta menjadi dasar pengembangan teknologi *swarm USV* yang efisien dan adaptif.

REFERENSI

- [1] K. Mudikdjo, S. Hardjoamidjojo, and A. Ismail, "ANALISIS KEBIJAKAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA DANAU YANG BERKELANJUTAN (STUDI KASUS DANAU MANINJAU SUMATERA BARAT) Analysis of Lake Resources Sustainable Utilization Policy (Case Study of Maninjau Lake in West Sumatera)," 2013.
- [2] C. Barrera, I. Padron, F. S. Luis, O. Llinas, and G. N. Marichal, "Trends and challenges in unmanned surface vehicles (Usv): From survey to shipping," *TransNav*, vol. 15, no. 1, pp. 135–142, 2021, doi: 10.12716/1001.15.01.13.
- [3] M. Specht, C. Specht, H. Lasota, and P. Cywiński, "Assessment of the steering precision of a hydrographic unmanned surface vessel (USV) along sounding profiles using a low-cost multi-global navigation satellite system (GNSS) receiver supported autopilot," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 18, Sep. 2019, doi: 10.3390/s19183939.
- [4] I. Update, "Apa itu sensor Ultrasonik? - Kursus IoT Arduino Elektronika," <https://blog.indobot.co.id/apa-itu-sensor-ultrasonik/>.
- [5] "Autonomous boat," <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/autonomous-boat/>.
- [6] "Sistem Komunikasi Autonomous Boat Dan Ground Control Station Guna Mendukung Penelitian Autonomous Fish Feeder Swarm Boat."
- [7] M. Jerry et al., "Sistem Navigasi pada Unmanned Surface Vehicle untuk Pemantauan Daerah Perairan," 2017.
- [8] E. Susanto and I. Fiky Yosef Suratman, "IMPLEMENTASI KONTROL GERAK PENJEJAKAN PADA AUTONOMOUS DRONE BOAT MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL IMPLEMENTATION OF MOTION CONTROL IN AUTONOMOUS DRONE BOAT USING FUZZY LOGIC CONTROL."
- [9] H. R. M. A. W. D. K. W. A. W. I. Purwanto, "KOMPARASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 DAN JSN-SR04T UNTUK APLIKASI SISTEM DETEKSI KETINGGIAN AIR," vol. 10, Nov. 2019.
- [10] "Sensor Jarak Ultrasonik JSN-SR04T Tahan Air Bahasa Indonesia," https://ardupilot-org.translate.google.com/translate/docs/common-jsn-sr04t.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs.
- [11] T. N. Arifin, G. Febriyani Pratiwi, and A. Janrafasih, "SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI

- SENSOR JARAK”, [Online]. Available: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>
- [12] “JSN-SR04T-Datasheet”.
- [13] S. Santos, “TTGO LoRa32 SX1276 OLED with Arduino IDE | Random Nerd Tutorials,” <https://randomnerdtutorials.com/ttgo-lora32-sx1276-arduino-ide/>.
- [14] “LoRaWan TTGO - ESP32 - Telkom Antares,” https://www.aisi555.com/2024/05/lorawan-ttgo-esp32-telkom-antares.html#google_vignette.
- [15] D. Yudha Kusuma, N. Bayu Permatasari, R. Rostira Pebriani, and I. Hudati, “SENSOR ULTRASONIK WATERPROOF A02YYUW BERBASIS ARDUINO UNO PADA SISTEM PENGUKURAN JARAK,” vol. 2, no. 2, 2021.

