

Sistem Kendali Gerak Solar Autonomous Boat Sebagai Bagian Dari Teknologi Swarm USV

^{1st} Muhammad Nauval Izzuddin Abd Haq
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
muhnaual@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 Terapanline Universitas
Telkom
Bandung, Indonesia
arishartaman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pemanfaatan Unmanned Surface Vehicle (USV) terus meningkat di berbagai bidang seperti pemantauan lingkungan, eksplorasi kelautan, dan operasi maritim. Namun, efisiensi energi masih menjadi tantangan utama, terutama untuk misi jangka panjang. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali gerak pada kapal autonomous berbasis energi surya guna meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Sistem ini menggunakan mikrokontroler LoRa ESP32 untuk mengendalikan dua motor BLDC melalui Electronic Speed Controller (ESC) dengan pendekatan differential thrust. Catu daya disuplai oleh panel surya 50W, solar charge controller, dan baterai SLA 12V 7Ah. Pengujian dilakukan dalam mode manual menggunakan remote control Turnigy 9X dan mode otomatis melalui pemrograman dengan pola gerak kotak serta navigasi berbasis GPS, kompas digital, dan sensor ultrasonik untuk sistem penghindaran rintangan. Hasil uji menunjukkan kapal dapat bergerak stabil dengan kecepatan rata-rata 0,83 m/s dalam mode manual dan 0,56 m/s dalam mode otomatis. Sistem mampu beroperasi selama 40–45 menit dengan baterai saja dan lebih lama jika dibantu panel surya. Penelitian ini berhasil mencapai tujuan rancangan dan menunjukkan bahwa sistem dapat dijadikan sebagai prototipe awal untuk pengembangan teknologi Swarm USV berbasis energi terbarukan.

Kata kunci— USV, kendali gerak, panel surya, SwarmUSV, BLDC, ESC

I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Perkembangan teknologi otonom di bidang maritim semakin pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem transportasi yang efisien, hemat energi, dan minim intervensi manusia. Salah satu teknologi yang berkembang adalah penggunaan kapal autonomous bertenaga surya atau Solar Autonomous Boat. Teknologi ini memungkinkan kapal bergerak secara mandiri dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber tenaga utama[1]

Di sisi lain, konsep SwarmUSV (Swarm Unmanned Surface Vehicle) menawarkan pendekatan kolaboratif antar kapal autonomous untuk menjalankan tugas tertentu secara bersamaan, seperti pemetaan laut, monitoring kualitas air, atau patroli wilayah perairan[2]. Untuk mewujudkan sistem swarm yang efisien, dibutuhkan unit kapal yang mampu bergerak secara presisi, responsif terhadap lingkungan

sekitar, serta memiliki sistem navigasi dan catu daya yang andal.

Namun, tantangan utama dalam membangun Solar Autonomous Boat yang mampu menjadi bagian dari sistem SwarmUSV adalah bagaimana merancang sistem kendali gerak yang akurat, stabil, dan adaptif terhadap kondisi perairan. Sistem tersebut harus mampu mengatur arah dan kecepatan kapal berdasarkan data dari sensor navigasi serta menghindari rintangan secara otomatis. Selain itu, efisiensi dalam pengelolaan daya menjadi aspek krusial agar kapal dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lama.

Oleh karena itu, tugas akhir ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem kendali gerak serta sistem catu daya pada Solar Autonomous Boat. Dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, GPS, kompas digital, serta sensor ultrasonik, sistem ini diharapkan mampu memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam mendukung teknologi SwarmUSV di masa depan.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem kendali gerak yang efisien dan stabil pada solar autonomous boat
2. Mengintegrasikan energi surya sebagai sumber daya utama untuk Memastikan keberlanjutan operasional jangka panjang tanpa ketergantungan pada bahan bakar fosil.
3. Mengembangkan model simulasi dan pengujian lapangan untuk mengukur efektivitas sistem kendali gerak dalam skenario aplikasi nyata

II. KAJIAN TEORI

A. Unmanned Surface Vehicle (USV)

USV merupakan kendaraan otonom yang beroperasi di permukaan air tanpa memerlukan operator manusia secara langsung di atas kapal. Menurut[3], USV dirancang untuk menjalankan tugas tertentu seperti pemetaan laut, pemantauan lingkungan, dan keamanan maritime. Keuntungan utama USV adalah efisiensi biaya, pengurangan risiko bagi manusia, serta kemampuan untuk menjangkau area berbahaya. Dalam tugas akhir ini, USV berperan sebagai platform utama pengujian sistem kendali gerak dan sistem catu daya berbasis energi terbarukan.

B. Panel Surya

Panel surya adalah perangkat yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik. Menurut, energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan. Panel surya digunakan untuk mengisi baterai yang menjadi sumber daya utama bagi mikrokontroler dan aktuator kapal. Stabilitas output panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan kondisi cuaca, sehingga diperlukan sistem pengatur daya tambahan seperti solar charge controller.[5]

C. Solar Charge Controller(SCC)

Agar baterai tidak rusak, diperlukan alat pengendali yang dapat menghentikan pengisian saat baterai sudah penuh, menyalurkan energi ke perangkat elektronik saat dibutuhkan, dan memulai pengisian kembali ketika daya hampir habis. Alat ini disebut charge controller[6]

D. Baterai Aki 12V 7Ah

Baterai atau aki berfungsi sebagai penyimpan energi listrik saat tidak ada sinar matahari. Baterai yang digunakan adalah baterai kering 12V 7Ah, yaitu jenis baterai timbal-asam tertutup rapat (Sealed Lead-Acid Battery, SLA) yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Baterai ini tidak memerlukan perawatan seperti pengisian air elektrolit, sehingga dikenal sebagai maintenance-free battery.[7]

E. Converter step-down 12V to 5V

Modul step-down atau penurun tegangan DC LM2596 adalah perangkat yang menggunakan IC LM2596 sebagai komponen utama. IC ini merupakan sirkuit terpadu yang berfungsi sebagai konverter DC step-down dengan kapasitas arus[8]

F. Electronic Speed Controller (ESC)

Electronic Speed Controller (ESC) adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan, arah putaran, dan pengereman pada motor listrik, terutama motor DC dan motor brushless (BLDC). ESC berperan sebagai perantara antara baterai dan motor, dengan mengatur jumlah daya yang disalurkan ke motor untuk mengendalikan kecepatannya secara efisien[9]

G. Brushless DC motor (BLDC)

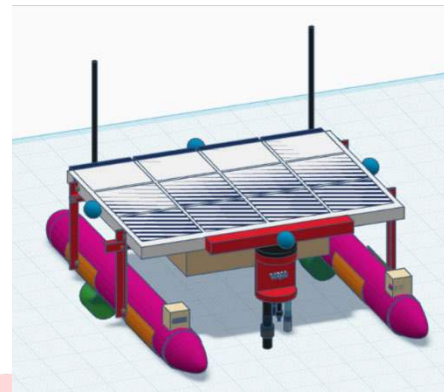
Brushless DC (BLDC) motor, atau dikenal juga sebagai electronically commutated motor (ECM/EC motor), merupakan motor sinkron yang menggunakan sumber listrik DC. Motor ini bekerja dengan bantuan inverter atau switching power supply yang mengubah arus DC menjadi AC, sehingga dapat menggerakkan motor dengan efisien.[10]

H. Mikrokontroler LoRa

LoRa (Long Range) merupakan modul telekomunikasi wirelless berdaya rendah, yang diperkenalkan oleh Semtech pada tahun 2013. Karakteristik lain dari LoRa adalah daya pancar yang dapat mencakup area relatif luas, terutama di lingkungan perkotaan yang kompleks. Berbagai fitur LoRa membuatnya ideal untuk pekerjaan bersekala besar dan komersialisai dengan biaya minimum. Sebelum munculnya teknologi LoRa, ada beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang sering digunakan, antara lain adalah Bluetooth, RFID, Wifi, dan ZigBee.[12]

III. METODE

A. Desain Sistem Solar Autonomous Boat

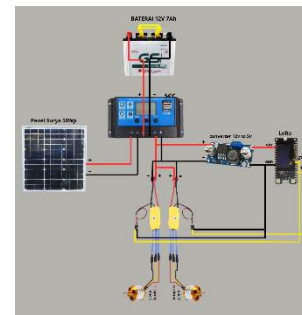


GAMBAR 1

Desain Kapal Solar Autonomous Boat

Desain sistem kapal autonomous ini didasarkan pada struktur fisik dan kebutuhan fungsional yang mendukung pengoperasian mandiri dan efisien. Kapal memiliki panjang 1.00 meter, lebar 0.75 meter, dan tinggi 0.50 meter dengan konfigurasi lambung double catamaran berbahan PVC yang ringan namun tahan air. Struktur lambung ganda memberikan kestabilan tinggi saat kapal bergerak maupun bermanuver. Panel surya berukuran 70 cm x 51 cm x 3 cm dan berat 41 kg dipasang di bagian atas kapal untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari. Energi yang dikumpulkan dialirkan ke solar charge controller dan disimpan dalam baterai SLA 12V 7Ah, yang kemudian mendistribusikan daya ke motor BLDC dan sistem logika melalui DC-DC converter. Seluruh sistem elektronik termasuk Lora, ESC, modul LoRa, dan rangkaian pendukung lainnya ditempatkan dalam kotak instrumen berukuran 330 x 230 x 95 mm dengan material ABS waterproof IP65 untuk perlindungan dari air dan kelembapan. Struktur rangka kapal menggunakan konfigurasi rangka H sebagai penopang antara dua lambung, menjamin kekuatan dan kemudahan perakitan serta perawatan sistem secara keseluruhan. Perpaduan desain mekanik dan elektronik ini menghasilkan sistem kapal autonomous yang stabil, efisien, dan siap mendukung pengujian sistem kendali gerak berbasis LoRa dan tenaga surya.

B. Rangkaian Arsitektur Sistem



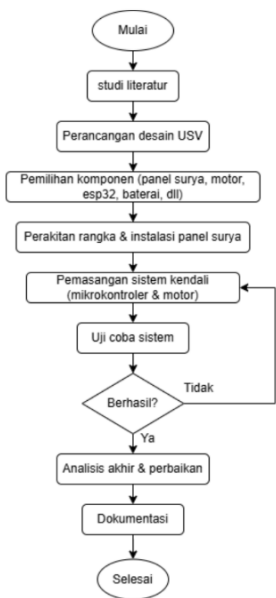
GAMBAR 2

Rangkaian Arsitektur Sistem

C. Tahapan Perancangan

Tahapan pengerjaan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dalam beberapa langkah yang saling berkaitan

untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Tahapan-tahapan tersebut meliputi;



GAMBAR 3
Tahapan Perancangan

TABEL 1
Konversi Lebar Pulsa (μs) ke Nilai PWM 16-bit

Mikrodetik (us)	Nilai PWM (16-bit)	Keterangan	Kecepatan (m/s)
1000 μs	~3276	Motor stop	0 ms
1200 μs	~3932	Motor mulai berputar	1.3 ms
1500 μs	~4915	Kecepatan sedang	2.1 ms
1700 μs	~5570	Kecepatan tinggi	2.7 ms
2000 μs	~6553	Motor full throttle	2.8 ms

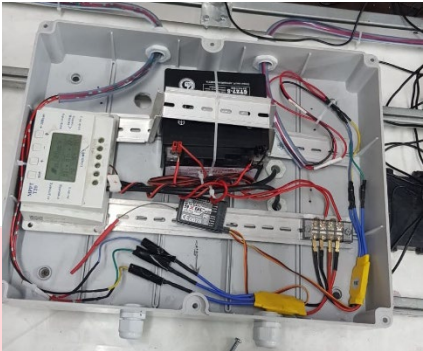
C. Pengujian Masukan Tegangan Panel Surya



GAMBAR 4
Pengujian Tegangan Panel Surya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Komponen Pada Kapal



Gambar 5
Implementasi Komponen Pada Kapal

Gambar di atas menunjukkan peletakan komponen sistem kendali gerak dan sistem catu daya pada kapal USV

B. Pengujian Kecepatan Motor



GAMBAR 6
Pengujian Kecepatan Kapal

TABEL 2
Pengujian Panel Surya

Kondisi Cuaca	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Cerah	17.2	2.5	43.0
Berawan	15.54	1.4	19.3

D. Pengujian Gerak Otomatis



GAMBAR 7

Pengujian Gerak Otomatis

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja kapal dalam mode otomatis, di mana kapal diprogram untuk mengikuti pola gerak persegi (kotak). Dalam satu siklus, kapal bergerak maju selama 15 detik, berhenti 3 detik, kemudian berbelok ke kanan selama 5 detik, dan mengulang pola ini sebanyak empat kali untuk membentuk satu putaran penuh dengan jarak total ± 4 meter. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu putaran adalah sekitar 90 detik. Saat menggunakan baterai penuh tanpa bantuan panel surya (gelap), kapal mampu menjalankan pola gerak otomatis ini berulang-ulang selama $\pm 1,31$ jam (78 menit) sebelum daya habis. Dalam kondisi cuaca mendung, panel surya menghasilkan 19 W, sehingga konsumsi dari baterai berkurang dan kapal dapat beroperasi selama $\pm 2,09$ jam (125 menit). Sedangkan pada kondisi cuaca cerah, panel menghasilkan 43 W, mengurangi beban baterai secara signifikan sehingga kapal mampu menjalankan pola otomatis hingga $\pm 8,27$ jam (497 menit) tanpa gangguan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem otomatis berjalan stabil dan efisien, serta sangat dipengaruhi oleh kontribusi daya dari panel surya terhadap daya tahan operasional kapal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem kendali gerak dan sistem catu daya pada kapal solar autonomous boat sebagai bagian dari teknologi Swarm USV berhasil direalisasikan dengan baik. Sistem mampu mengontrol pergerakan kapal menggunakan metode differential thrust yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dan dikendalikan melalui komunikasi LoRa maupun mode otomatis. Sistem penggerak menggunakan dua motor BLDC yang dikendalikan oleh ESC dan menunjukkan performa yang stabil dalam menjalankan perintah maju, belok, dan pola gerak otomatis.

Dari sisi catu daya, sistem berhasil menggunakan energi terbarukan dari panel surya 50W untuk mengisi baterai SLA 12V 7Ah secara efektif. Pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi selama 40–45 menit tanpa panel surya, dan hingga 60 menit dengan dukungan cahaya matahari yang optimal. Sistem kelistrikan terbukti mampu menyediakan suplai daya yang stabil untuk mendukung seluruh perangkat, termasuk motor dan mikrokontroler.

Pengujian performa menunjukkan bahwa kapal dapat dikendalikan secara manual menggunakan remote control Turnigy 9X dan juga dapat berjalan otomatis membentuk pola gerak kotak. Sistem juga telah diuji dengan navigasi berbasis GPS dan kompas, serta penghindaran tabrakan menggunakan sensor ultrasonik. Dengan demikian spesifikasi awal proyek tugas akhir, sistem yang dibangun telah sesuai dengan tujuan dan spesifikasi awal proyek tugas akhir

REFERENSI

- [1] A. Y, Z. Zaldi, and M. Zainal, "Perancangan Sistem Kendali dan Navigasi pada Prototype Unmanned Surface Vehicle (USV)," J. Mosfet, vol. 3, no. 1, pp. 10–17, 2023, doi: 10.31850/jmosfet.v3i1.2313.
- [2] N. Made, R. Ratih, D. Suwardhi, J. Teknik, and F. Ilmu, "Pembangunan Sistem Penentuan Posisi dan Navigasi Berbasis Sistem Unmanned Surface Vehicle (USV) untuk Survei Batimetri," J. Itenas Rekayasa ISSN 1410-3125, vol. XVIII, no. 1, pp. 9–22, 2014.
- [3] M. A. Salam, "Perancangan Sistem Manajemen Daya Pada Unmanned Surface Vehicle (USV) Dengan Penggerak Hybrid," pp. 1–115, 2019.
- [4] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," MSI Trans. Educ., vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mted.v2i1.46.
- [5] I. M. Astra and S. Sidopekso, "Studi rancang bangun Solar Charge Controller dengan indikator arus, tegangan dan suhu berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535," Univ. Negeri Jakarta. Jakarta ..., vol. XI, no. 1, 2011, [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/341017>
- [6] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi," J. Ris. dan Teknol. Kelaut., vol. 10, no. 2, pp. 169–180, 2012, [Online]. Available: <https://www.academia.edu/9561393/PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PULAU SAUGI>
- [7] D. A. Siregar and H. Hambali, "Alat Pembasmi Hama Tanaman Padi Otomatis Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Tegangan Kejut Listrik," JTEIN J. Tek. Elektro Indones., vol. 1, no. 2, pp. 55–62, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.17.
- [8] B. W. Jastono, "Rancang Bangun climbing Robot Stickybot Pengintai Bagian Katrol Berbasis Motor Servo," pp. 246–260, 2018, [Online]. Available: <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/544/485>

- [9] Rikho Yusuf Abadi, "Unmanned Surface Vehicle Untuk Pemetaan Kedalaman Air Menggunakan Navigasi Gps," *Repos. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 1–140, 2019.
- [10] R. Sahbani and H. Azwar, "Pengiriman Data Sensor Suhu dan Asap Menggunakan Longe Range (LoRa)," *ABEC Indones.*, vol. 9, pp. 1063–1080, 2021, [Online]. Available: <https://abecindonesia.org/proceeding/index.php/abec/article/view/161/232>

