RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SEPEDA AIR MENGGUNAKAN REMOTE CONTROL PADA PENGGERAK MOTOR BLDC

Meyranda Skyla Mingkid[1], I Gede Nikola Saputra[2], Jovan Gabriel Pangkey[3], Johan F. Makal[4], Yoice Rita Putung[5]

[1,2,3,4,5] Politeknik Negeri Manado

[1]skylamingkid@gmail.com, [2]igedenikolasaputra@gmail.com, [3]jovanpangkey04@gmail.com, [4]johanferny52@gmail.com, [5]yoiceputung@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents the design concept of a water bicycle control system using a 2.4 GHz radio frequency (RF) remote control integrated with a Brushless DC (BLDC) motor drive. The proposed system employs a FlySky GT2 two-channel transmitter, a GR3E three-channel receiver, a dual-mode 36V/48V BLDC bicycle controller (500W), a PWM-to-voltage converter (0–5V), a DS3235SG Pro servo, and a 36V/500W BLDC motor powered by a 36V/25Ah LiFePO4 battery enclosed in an IP67-rated housing. The system architecture is designed around a two-channel wireless communication scheme where Channel 1 (CH1) governs rudder steering via the servo and Channel 2 (CH2) governs propulsion via the BLDC Controller. Theoretical analysis based on motor specifications shows a nominal full-load current of 16.3A—representing a 59.3% safety margin below the Controller rated capacity. A comparative analysis confirms that 2.4 GHz FHSS technology and BLDC motors provide the most suitable combination for remote-controlled aquatic applications. This design concept establishes a technical foundation for implementing efficient, remotely-operated water bicycle systems in recreational contexts.

Keywords: BLDC motor, remote control, water bicycle, system design concept

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan konsep rancangan sistem kendali sepeda air menggunakan remote control berbasis frekuensi radio (RF) 2,4 GHz yang terintegrasi dengan sistem penggerak motor Brushless DC (BLDC). Sistem yang diusulkan menggunakan transmitter FlySky GT2 dua kanal, receiver GR3E tiga kanal, controller BLDC sepeda listrik dual-mode 36V/48V (500W), PWM-to-voltage converter (0–5V), servo DS3235SG Pro, serta motor BLDC 36V/500W yang disuplai oleh baterai LiFePO4 36V/25Ah yang ditempatkan dalam housing berstandar IP67. Arsitektur sistem dirancang menggunakan skema komunikasi nirkabel dua kanal, di mana Channel 1 (CH1) mengendalikan kemudi rudder melalui servo dan Channel 2 (CH2) mengendalikan sistem propulsi melalui controller BLDC. Analisis teoritis berdasarkan spesifikasi motor menunjukkan arus nominal beban penuh sebesar 16,3A yang merepresentasikan margin keamanan sebesar 59,3% di bawah kapasitas arus maksimum controller. Analisis komparatif mengonfirmasi bahwa teknologi FHSS 2,4 GHz dan motor BLDC memberikan kombinasi paling sesuai untuk aplikasi wahana air yang dikendalikan dari jarak jauh. Konsep rancangan ini menjadi landasan teknis bagi implementasi sistem sepeda air elektrik yang efisien dan dapat dioperasikan dari jarak jauh untuk keperluan rekreasi.

Kata Kunci: motor BLDC, remote control, sepeda air, konsep rancangan sistem

A. Pendahuluan

Perkembangan teknologi transportasi air yang kian pesat mendorong munculnya berbagai inovasi wahana berbasis tenaga elektrik yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Sepeda air elektrik merupakan salah satu inovasi tersebut yang menggabungkan konsep kendaraan roda dua dengan sistem penggerak motor listrik, sehingga pengoperasiannya tidak lagi bergantung sepenuhnya pada tenaga fisik pengendara (Prasetyo & Nugroho, 2020). Integrasi sistem kendali nirkabel pada wahana semacam ini membuka peluang bagi pengguna untuk mengoperasikan wahana dari jarak tertentu secara praktis dan aman.



Gambar 1. Desain Fisik Prototipe Sepeda Air dan Identifikasi Rencana Penempatan Komponen Utama

Motor Brushless Direct Current (BLDC) telah menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi penggerak wahana air ringan karena karakteristik efisiensi tinggi di atas 85%, kepadatan daya besar, respons dinamis cepat, serta minimnya komponen mekanis bergerak yang rentan aus (Krishnan, 2010; Yedamale, 2003).

Sistem transmisi sinyal berbasis frekuensi radio 2,4 GHz dengan

teknologi frequency hopping spread spectrum (FHSS) dipilih karena kemampuannya meminimalkan interferensi elektromagnetik dari perangkat lain yang beroperasi pada pita frekuensi yang sama (Tsividis, 2007). Fossen (2011) menegaskan bahwa keandalan komunikasi nirkabel merupakan faktor paling kritis dalam sistem kendali wahana air, mengingat kehilangan sinyal dapat berakibat pada hilangnya kendali atas wahana secara tiba-tiba.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji sistem kendali wahana air elektrik. Fatkhurozi, Muryanto, & Triyono (2019) merancang kapal tanpa awak berbasis motor DC dengan sistem nirkabel yang mampu beroperasi pada jarak hingga 60 meter. Anggara & Putra (2021) merancang sistem propulsi BLDC 48V untuk perahu nelayan dengan proyeksi efisiensi energi 40% lebih tinggi dari penggerak berbahan bakar. Santoso & Hidayat (2022) mengembangkan desain kontrol PID pada motor BLDC untuk wahana air otomatis. Namun, tidak ada yang secara spesifik membahas integrasi FlySky GT2 dengan Controller BLDC pada wahana sepeda air beserta analisis teknis desainnya secara komprehensif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang arsitektur sistem kendali sepeda air berbasis motor BLDC 36V/500W menggunakan remote control FlySky GT2 2,4 GHz; (2) menganalisis secara teoritis karakteristik arus dan daya sistem berdasarkan spesifikasi komponen yang dipilih; (3) membandingkan pilihan teknologi komunikasi nirkabel dan jenis motor untuk mendukung keputusan desain; serta (4) menyusun konsep rancangan lengkap yang siap dijadikan acuan implementasi fisik.

A. Metode Perancangan

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan teknik (engineering design) yang terdiri dari empat tahap: (1) identifikasi kebutuhan dan spesifikasi sistem, (2) perancangan arsitektur dan pemilihan komponen, (3) perancangan skema rangkaian dan wiring, serta (4) analisis teoritis kinerja sistem berdasarkan spesifikasi komponen yang dipilih

(Sugiyono, 2019). Seluruh analisis dilakukan secara teoritis dan komputasional tanpa pengujian fisik, sehingga menghasilkan konsep rancangan yang terverifikasi secara teknis.

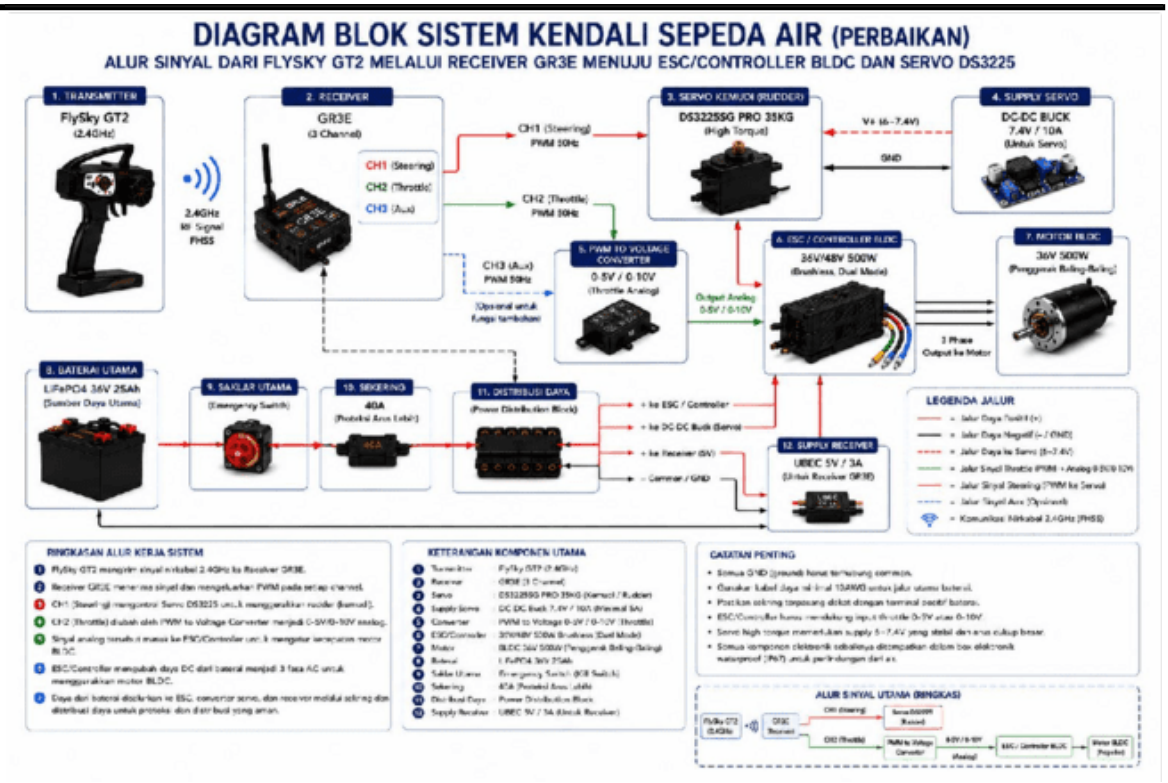
1. Perancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem kendali yang dirancang terdiri dari dua subsistem utama yang beroperasi secara independen. Subsistem propulsi mencakup motor BLDC 36V/500W yang dikendalikan oleh Controller BLDC Dual Mode 36V/48V 500W. Karena controller sepeda listrik ini menerima masukan berupa sinyal tegangan analog (0–5V atau 0–10V) dan bukan sinyal PWM langsung, diperlukan sebuah komponen tambahan berupa PWM to Voltage Converter yang bertugas mengubah sinyal PWM keluaran Channel 2 (CH2) receiver GR3E menjadi sinyal tegangan analog yang kompatibel dengan input controller. Subsistem kemudi memanfaatkan servo DS3235SG Pro 35 kg·cm High Voltage yang digerakkan langsung oleh sinyal PWM dari Channel

1 (CH1) receiver. Kedua subsistem menerima perintah secara nirkabel dari pemancar FlySky GT2 2,4 GHz yang dioperasikan pengguna dari darat,

sementara seluruh komponen elektronik aktif ditempatkan dalam kotak pelindung berstandar IP67.

Topologi sistem kendali yang diusulkan bersifat open-loop control system, di mana tidak terdapat umpan balik dari aktuator ke pengendali. Alur sinyal sistem adalah: pemancar FlySky GT2 → receiver GR3E → PWM to Voltage Converter → controller BLDC → motor, serta receiver GR3E → servo → rudder, untuk kanal kemudi. Kehadiran PWM to Voltage Converter dalam rantai sinyal propulsi adalah konsekuensi dari antarmuka controller sepeda listrik yang dirancang menerima tegangan analog throttle, bukan sinyal PWM RC standar (Ogata, 2010). Suplai daya berasal dari baterai LiFePO4 36V/25Ah yang dihubungkan ke controller melalui saklar utama dan sekering blade 40A sebagai proteksi arus lebih. PWM converter mendapatkan suplai 5V dari output BEC pada Controller BLDC, sehingga tidak memerlukan catu daya tambahan.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kendali Sepeda Air: Alur Sinyal dari FlySky GT2 melalui Receiver GR3E menuju Controller BLDC dan Servo DS3235SG Pro

2. Pemilihan dan Spesifikasi Komponen

Pemilihan komponen didasarkan pada kompatibilitas tegangan antarkomponen dan ketahanan terhadap lingkungan perairan. Motor BLDC 36V/500W dipilih karena rasio daya-berat optimal untuk wahana rekreasi ringan. Controller BLDC Dual Mode 36V/48V 500W dipilih karena kemampuannya beroperasi pada dua rentang tegangan, memberikan fleksibilitas pengembangan ke depan. Arus beban penuh teoritis motor sekitar 16,3A (pada η=85%) berada jauh di bawah kapasitas controller, sehingga

controller beroperasi dengan margin aman yang memadai (Rashid, 2014). Servo DS3235SG Pro 35 kg·cm High Voltage dipilih untuk kemampuan torsi yang lebih besar dari DS3225 sehingga mampu menggerakkan rudder pada kecepatan tinggi tanpa slip. PWM to Voltage Converter 0–5V/0–10V diperlukan sebagai jembatan sinyal antara receiver GR3E yang menghasilkan sinyal PWM RC standar dan controller yang hanya menerima input tegangan analog. Tabel 1 merangkum spesifikasi lengkap seluruh komponen yang dipilih.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Rancangan Sistem Kendali Sepeda Air

Komponen	Spesifikasi
Remote Control	FlySky GT2, 2,4 GHz, 2 kanal
Receiver	GR3E, 2,4 GHz, 3 kanal, FHSS
PWM to Voltage Converter	0–5V / 0–10V, input PWM 1–2 ms
Controller BLDC	Dual Mode 36V/48V, 500W, proteksi over-current
Motor BLDC	36V, 500W, 3.000 RPM, η = 85%
Servo Kemudi	DS3235SG Pro, 35 kg·cm, High Voltage, waterproof
Baterai	LiFePO4, 36V/25Ah, BMS built-in
Sekering	Blade 40A, 36V DC
Kotak Pengendali	ABS, IP67, 200×150×100 mm
Kabel Daya	AWG 10, silikon, tahan suhu 200°C

3. Perancangan Skema Rangkaian Skema rangkaian dirancang dengan mengikuti alur distribusi daya dan sinyal secara terpisah. Jalur daya: baterai → saklar utama → sekering 40A → Controller BLDC → motor (tiga kabel fasa: U/biru, V/kuning, W/hijau). Jalur sinyal: receiver GR3E → CH2 (kabel sinyal tiga jalur: VCC 5V, GND, PWM) → PWM to

Voltage Converter → controller BLDC untuk throttle; receiver GR3E → CH1 → servo DS3235SG Pro untuk kemudi. Seluruh kabel daya menggunakan penampang minimum AWG 10 agar mampu menghantarkan arus hingga 40A tanpa pemanasan berlebih (Mohan et al., 2003).

Urutan pemasangan kabel fasa motor ke Controller BLDC tidak ditentukan secara permanen; apabila arah putaran motor tidak sesuai, dua dari tiga kabel fasa dapat ditukar tanpa modifikasi perangkat lunak. Proses pairing antara FlySky GT2 dan GR3E dilakukan satu kali sebelum sistem dioperasikan (Wijaya & Suhariningsih, 2019).

4. Metode Analisis Teoritis

Analisis teoritis kinerja sistem dilakukan menggunakan empat persamaan utama yang disusun berdasarkan hukum dasar kelistrikan dan termodinamika. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung arus beban penuh motor, di mana P adalah daya nominal (W), V adalah tegangan operasional (V), dan η adalah efisiensi motor (desimal).

Kapasitas energi baterai diperoleh melalui Persamaan 3, dan estimasi durasi operasional sistem dihitung melalui Persamaan 4.

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan dalam analisis teoritis sistem kendali sepeda air ini adalah sebagai berikut:

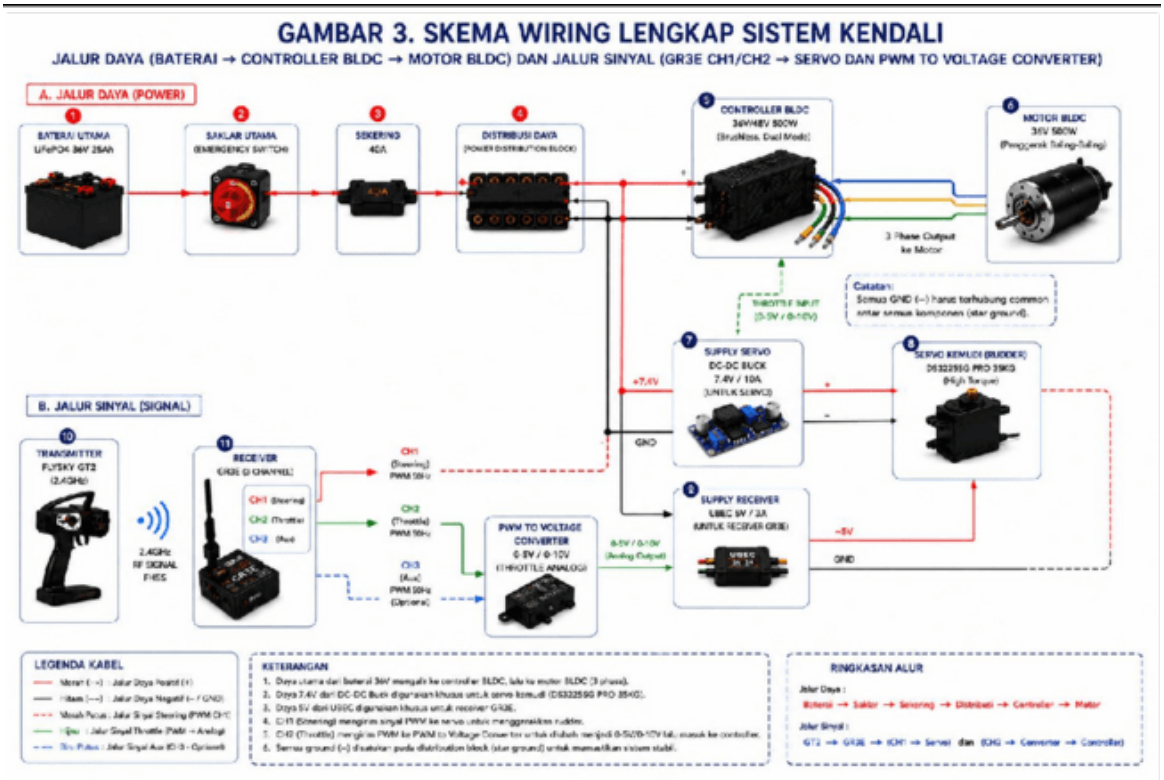
$$I = \frac{P}{V \times \eta} \quad \text{(Persamaan 1)}$$

$$I = \frac{P}{V \times \eta} = \frac{500}{36 \times 0{,}85} \approx 16{,}3 \text{ A} \quad \text{(Persamaan 2)}$$

$$\text{Margin ESC} = \frac{I_{ESC} - I_{motor}}{I_{ESC}} \times 100\% \quad \text{(Persamaan 3)}$$

$$E = V \times Ah \quad \text{(Persamaan 4)}$$

$$t = \frac{E}{P_{avg}} \quad \text{(Persamaan 5)}$$



Gambar 3. Skema Wiring Lengkap Sistem Kendali: Jalur Daya (Baterai → Controller BLDC → Motor BLDC) dan Jalur Sinyal (GR3E CH1/CH2 → Servo dan PWM to Voltage Converter)

B. Hasil Perancangan dan Analisis

1. Rancangan Arsitektur dan Analisis Teoritis Daya

Arsitektur sistem kendali yang diusulkan dalam rancangan ini terdiri dari dua subsistem independen yang terintegrasi melalui receiver GR3E sebagai pusat distribusi sinyal. Keunikan rancangan ini adalah penambahan PWM to Voltage Converter sebagai komponen perantara antara receiver dan controller BLDC, yang menjadi solusi atas ketidakcocokan format sinyal antara keluaran receiver (PWM RC 1–2 ms) dan masukan controller (tegangan analog 0–5V). Analisis teoritis dilakukan menggunakan Persamaan 1 dengan V = 36V dan η = 85%. Nilai arus pada beban penuh diperoleh melalui Persamaan 2 ($I = 500/(36 \times 0{,}85) \approx 16{,}3A$). Tabel 2 menyajikan hasil perhitungan teoritis arus dan daya sistem pada berbagai kondisi throttle.

Tabel 2. Analisis Teoritis Arus dan Daya Sistem pada Berbagai Kondisi Throttle

Throttle (%)	Daya Teoritis (W)	Arus Teoritis (A)	Cadangan Daya (%)	Keterangan
25	125	4,1	89,8	Beban sangat ringan
50	250	8,2	79,5	Beban sedang
75	375	12,3	69,3	Beban berat
100	500	16,3	59,3	Beban penuh nominal
Kapasitas Controller	**–**	**16,3 A teoritis**	**–**	Pada η = 85%

Berdasarkan Tabel 2, arus teoritis pada kondisi beban penuh adalah 16,3A, yang berada 59,3% di bawah kapasitas rated controller sebesar 40A. Margin keamanan ini memastikan bahwa tidak ada risiko overload pada kondisi beban penuh nominal. (Rashid, 2014). Semakin rendah posisi throttle, semakin besar cadangan daya yang tersedia dalam controller, sehingga untuk penggunaan wahana yang umumnya beroperasi di bawah 75% throttle, cadangan daya di atas 24% dapat dijaga dengan nyaman.

Kapasitas energi baterai LiFePO4 36V/25Ah diestimasi sebesar 900 Wh (E = 36 × 25). Dengan asumsi daya rata-rata operasional wahana wisata sekitar 300W (60% throttle), estimasi

durasi operasional melalui Persamaan 5 mencapai lebih dari 3 jam per siklus pengisian—jauh melampaui kebutuhan sesi wisata tipikal yang berlangsung 30–60 menit (Fossen, 2011). Ini menjadikan rancangan baterai yang dipilih sangat memadai dari sisi ketahanan energi.

2. Analisis Komparatif Teknologi Komunikasi Nirkabel

Pemilihan teknologi komunikasi nirkabel dilakukan melalui analisis komparatif terhadap tiga opsi yang umum digunakan pada sistem kendali wahana:
433 MHz, 2,4 GHz, dan 5,8 GHz.
Evaluasi dilakukan berdasarkan tujuh parameter teknis yang relevan untuk aplikasi wahana air. Tabel 3 menyajikan hasil perbandingan ketiga teknologi tersebut.

Tabel 3. Analisis Komparatif Teknologi Komunikasi Nirkabel untuk Sistem Kendali Wahana Air

Parameter	433 MHz	2,4 GHz (Dipilih)	5,8 GHz
Jangkauan efektif	>200 m	50–200 m	<50 m
Ketahanan interferensi	Rendah	Tinggi (FHSS)	Tinggi
Latensi sinyal	Tinggi	Rendah	Sangat rendah
Konsumsi daya TX	Tinggi	Sedang	Rendah
Harga modul	Mahal	Terjangkau	Mahal
Ketersediaan lokal	Terbatas	Luas	Terbatas
Kesesuaian wahana air	Cukup	Sangat Baik	Kurang

Tabel 3 menunjukkan bahwa teknologi 2,4 GHz dengan FHSS memberikan keseimbangan terbaik antara jangkauan, ketahanan interferensi, dan biaya untuk aplikasi wahana air rekreasi yang umumnya beroperasi dalam radius 50–100 meter dari operator. Teknologi 433 MHz menawarkan jangkauan lebih jauh tetapi rentan terhadap interferensi dari perangkat ISM band lain, sementara 5,8 GHz memiliki jangkauan terlalu pendek dan harga modul yang lebih tinggi (Tsividis, 2007). Pilihan FlySky GT2 berbasis 2,4 GHz FHSS dengan fitur dua kanal juga sepenuhnya memenuhi kebutuhan

minimum sistem kendali dua fungsi (propulsi + kemudi) dengan harga yang terjangkau.

3. Analisis Komparatif Motor Penggerak

Pemilihan motor BLDC sebagai penggerak utama dilandasi oleh analisis komparatif terhadap tiga jenis motor yang umum digunakan pada wahana air kecil: motor DC brushed, motor BLDC, dan motor DC universal. Evaluasi dilakukan berdasarkan tujuh parameter teknis yang relevan. Tabel 4 menyajikan hasil perbandingan ketiga jenis motor tersebut.

Tabel 4. Analisis Komparatif Jenis Motor Penggerak untuk Aplikasi Wahana Air

Parameter	Motor DC Brushed	Motor BLDC (Dipilih)	Motor DC Universal
Efisiensi (%)	75–80	85–90	70–75
Kebutuhan perawatan	Periodik	Minimal	Periodik

Ketahanan terhadap air	Rendah	Tinggi	Rendah
Kepadatan daya (W/kg)	Sedang	Tinggi	Sedang
Kemudahan kontrol kec.	Sedang	Tinggi	Sedang
Umur komponen	Sedang	Panjang	Pendek
Kesesuaian wahana air	Cukup	Sangat Baik	Kurang

Tabel 4 mengonfirmasi keunggulan motor BLDC pada hampir seluruh parameter yang dievaluasi. Efisiensi

85–90% yang lebih tinggi dibandingkan motor brushed (75–80%) berarti lebih sedikit daya baterai yang terbuang

sebagai panas, sehingga durasi operasional lebih panjang dengan kapasitas baterai yang sama (Chapman, 2012). Ketiadaan sikat karbon menghilangkan sumber utama keausan dan percikan api yang berbahaya di lingkungan lembab, sekaligus menjadikan motor lebih tahan terhadap paparan air (Yedamale, 2003). Kemudahan kontrol kecepatan melalui Controller BLDC menjadikan integrasi dengan sistem nirkabel FlySky GT2 sangat straightforward secara teknis.

Secara keseluruhan, rancangan sistem yang dikembangkan mengintegrasikan teknologi terbaik di kelasnya untuk setiap subsistem: komunikasi nirkabel 2,4 GHz FHSS, motor BLDC berefisiensi tinggi, Controller BLDC dengan margin keamanan arus yang lebar, dan proteksi IP67 untuk seluruh elektronik aktif. Kombinasi ini menghasilkan arsitektur sistem yang andal secara teoritis, efisien, dan mampu menjadi acuan implementasi fisik sepeda air elektrik (Setiawan, Triwiyatno, & Sudjadi, 2018).



Gambar 4. Tampak Fisik Rencana Penempatan Komponen: (a) Box Pengendali IP67, (b) Baterai, (c) Servo DS3235SG Pro ke Rudder, (d) Motor BLDC Penggerak Baling-Baling



Gambar 5. Ilustrasi Konsep Operasional Sistem Kendali Sepeda Air: Operator Mengoperasikan FlySky GT2 dari Darat untuk Mengendalikan Wahana di Perairan

D. Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan konsep rancangan sistem kendali sepeda air berbasis motor BLDC 36V/500W menggunakan remote control FlySky GT2 2,4 GHz. Dari proses perancangan dan analisis teoritis yang dilakukan, diperoleh empat simpulan utama.

Pertama, arsitektur sistem dua kanal yang dirancang—CH1 untuk kemudi dan CH2 untuk throttle—memungkinkan operasi propulsi dan
kemudi secara independen dan simultan, meminimalkan risiko kegagalan silang antara subsistem. Kedua, analisis teoritis menunjukkan arus beban penuh motor sebesar 16,3A berada 59,3% di bawah kapasitas controller BLDC Dual Mode 36V/48V 500W, dengan cadangan daya yang memadai. Ketiga, analisis komparatif mengonfirmasi bahwa teknologi 2,4 GHz FHSS unggul secara teknis dibandingkan 433 MHz dan 5,8 GHz untuk aplikasi wahana air rekreasi dalam radius 50–200 meter. Keempat,

motor BLDC terbukti secara teknis lebih unggul dari motor brushed dalam hal efisiensi, ketahanan air, dan kemudahan kontrol berbasis Controller BLDC.

Sebagai langkah lanjutan, disarankan untuk mewujudkan rancangan konsep ini menjadi prototipe fisik dan melakukan pengujian lapangan guna memverifikasi asumsi teoritis yang telah ditetapkan, khususnya terkait efisiensi motor aktual, jangkauan sinyal di lingkungan perairan terbuka, dan durasi operasional baterai dalam kondisi beban nyata.

DAFTAR PUSTAKA

Anggara, D., & Putra, R. A. (2021). Perancangan sistem propulsi elektrik motor BLDC untuk perahu nelayan skala kecil. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 10(2), 87–96. https://doi.org/10.35793/jtek.10.2.20 21.33291

Chapman, S. J. (2012). Electric machinery fundamentals (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Fatkhurozi, A., Muryanto, S., & Triyono,

B. (2019). Rancang bangun kapal tanpa awak berbasis Arduino dengan sistem kendali nirkabel. Jurnal Teknik Mesin, 7(1), 22–30.

Fossen, T. I. (2011). Handbook of marine craft hydrodynamics

and

motion control. Chichester: John Wiley & Sons.

Hughes, A., & Drury, B. (2019). Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications (5th ed.). Oxford: Newnes.

Krishnan, R. (2010). Permanent magnet synchronous and brushless DC motor drives. Boca Raton: CRC Press.

Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins,

W. P. (2003). Power electronics: Converters, applications, and design (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Ogata, K. (2010). Modern control

otomatis. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 11(3), 145–154. https://doi.org/10.25077/jnte.v11n3. 951.2022

Setiawan, I., Triwiyatno, A., & Sudjadi. (2018). Sistem kendali cerdas. Yogyakarta: Andi Offset.

Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D (Edisi ke-2). Bandung: Alfabeta.

Tsividis, Y. (2007). Operation and modeling of the MOS transistor (3rd ed.). New York: Oxford University Press.

Wahyudi, W., Setiawan, J. D., & Tjahjana, D. D. D. P. (2020). Desain dan implementasi kontroler kecepatan motor BLDC menggunakan metode fuzzy logic. Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 22(3), 106–113.

Wijaya, F. D., & Suhariningsih. (2019). Electronic speed

engineering (5th ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.

Prasetyo, H., & Nugroho, A. (2020). Analisis performa motor BLDC pada aplikasi kendaraan air ringan. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika, 6(1), 44–53. https://doi.org/10.26555/jiteki.v6i1.1 4728

Rashid, M. H. (2014). Power electronics handbook: Devices, circuits and applications (4th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Santoso, B., & Hidayat, R. (2022). Implementasi sistem kendali PID pada motor BLDC untuk wahana air

controller berbasis mikrokontroler untuk pengaturan kecepatan motor BLDC pada aplikasi maritim. Jurnal Otomasi, Kontrol, dan Instrumentasi, 11(2), 73–82.

Yedamale, P. (2003). Brushless DC (BLDC) motor fundamentals (Application Note AN885). Chandler, AZ: Microchip Technology Inc.

Zuhal. (2014). Dasar tenaga listrik dan elektronika daya (Edisi ke-2). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.