UNIVERSITAS
GADJAH MADA
SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN REAL-TIME KINERJA MOTOR BLDC BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROL DENGAN PSoC UNTUK PERAHU LISTRIK
UUN TRIYAS YUNI KURNIAWAN, Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng. ; Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

# SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN REAL-TIME KINERJA MOTOR BLDC BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROL DENGAN PSoC UNTUK PERAHU LISTRIK

Oleh
**Uun Triyas Yuni Kurniawan**

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal 06 Juli 2026 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

## INTISARI

Pengembangan perahu listrik air tawar memerlukan sistem propulsi yang responsif, teredam, dan tetap dapat dievaluasi ketika beban berubah. Penelitian ini merancang serta mengevaluasi sistem pemantauan dan pengendalian kecepatan motor *Brushless Direct Current* (BLDC) berbasis *Fuzzy Logic Control* (FLC) pada PSoC 5LP. Keaslian penelitian ditekankan pada integrasi *native telemetry* ESC, akuisisi torsi mekanis, dan pengendali tertanam dalam satu sistem uji, bukan pada klaim bahwa FLC atau *Differential Evolution* (DE) merupakan metode baru.

Metode penelitian meliputi pemodelan motor BLDC, perancangan PID sebagai *baseline*, penalaan PID-DE, perancangan FLC-5 dan FLC-7, serta penalaan FLC-DE secara *offline* menggunakan DE. Tegangan, arus, kecepatan, dan suhu diperoleh dari ESC Votol EM-50 melalui UART. Torsi diperoleh melalui mekanisme *swinging arm*, *load cell*, HX711, dan ESP32. PID-DE dan FLC-DE diuji pada PSoC dengan lima ulangan pada skenario respons transien, efisiensi, dan gangguan beban yang disetarakan.

Verifikasi kanal telemetri menghasilkan galat relatif tegangan sebesar 0,21–0,25% dan galat relatif arus sebesar 0,93–1,20%, sedangkan perbedaan rata-rata torsi terhadap pembanding sebesar 3,53%. Model analitik tervalidasi dengan RMSE 15,78 rpm. Pada *set point* 2000 rpm, FLC-DE menghasilkan *rise time* 0,70 s, *settling time* 1,00 s, dan *overshoot* 0,05%, sedangkan PID menghasilkan 0,80 s, 1,32 s, dan 2,96%. PID-DE menghasilkan *rise time* 0,55 ± 0,00 s, *settling time* 0,70 ± 0,00 s, dan *overshoot* 0,85 ± 0,09%. Efisiensi rata-rata pada beban bukan nol sebesar 78,40% untuk PID, 82,60% untuk PID-DE, dan 88,90% untuk FLC-DE. Pada gangguan beban 0,56 N m, penurunan kecepatan maksimum PID-DE sebesar 42,62 ± 1,27 rpm, sedangkan FLC-DE sebesar 14,40 ± 1,14 rpm. PID-DE memberikan respons awal paling cepat, sementara FLC-DE menunjukkan redaman *overshoot*, efisiensi, dan ketahanan gangguan beban terbaik pada konfigurasi laboratorium yang diuji. Tugas kendali internal dirancang berperiode 1 ms dan pembaruan telemetri berlangsung sekitar 50 ms. Karena *worst-case execution time*, *jitter*, dan latensi ujung-ke-ujung belum diukur, klaim *real-time* dibatasi pada kesiapan arsitektur *soft real-time*, bukan verifikasi *hard real-time*.

**Kata Kunci** : Motor BLDC, *Fuzzy Logic Control*, *Differential Evolution*, PSoC, Perahu Listrik

Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng.

Pembimbing Pendamping : Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., IPU.

SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN REAL-TIME KINERJA MOTOR BLDC BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROL DENGAN PSoC UNTUK PERAHU LISTRIK
UUN TRIYAS YUNI KURNIAWAN, Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng. ; Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., P
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

# REAL-TIME MONITORING AND CONTROL SYSTEM OF BLDC MOTOR PERFORMANCE BASED ON FUZZY LOGIC CONTROL WITH PSoC FOR ELECTRIC BOATS

By
**Uun Triyas Yuni Kurniawan**

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, as one of the requirements
to obtain the Master's Degree in Engineering Physics

## ABSTRACT

Freshwater electric boats require propulsion systems that are responsive, well damped, and measurable under changing loads. This study designed and evaluated a *Brushless Direct Current* (BLDC) motor speed monitoring and control system based on *Fuzzy Logic Control* (FLC) using a PSoC 5LP. The originality lies in integrating ESC *native telemetry*, mechanical torque acquisition, and embedded control within one experimental system, rather than claiming that FLC or *Differential Evolution* (DE) is a new method.

The method included BLDC motor modeling, PID design as a *baseline*, PID-DE tuning, FLC-5 and FLC-7 design, and *offline* FLC-DE tuning using DE. Voltage, current, speed, and temperature were acquired from a Votol EM-50 ESC through UART. Torque was measured using a *swinging arm*, *load cell*, HX711, and ESP32. PID-DE and FLC-DE were implemented on the PSoC and evaluated through five repetitions under equivalent transient, efficiency, and load-disturbance scenarios.

Telemetry verification produced relative voltage errors of 0.21–0.25% and relative current errors of 0.93–1.20%, while the mean torque difference from the reference was 3.53%. The analytical model was validated with an RMSE of 15.78 rpm. At a 2000 rpm *set point*, FLC-DE achieved a *rise time* of 0.70 s, a *settling time* of 1.00 s, and an *overshoot* of 0.05%, whereas PID produced 0.80 s, 1.32 s, and 2.96%. PID-DE produced $0.55 \pm 0.00$ s, $0.70 \pm 0.00$ s, and $0.85 \pm 0.09$%, respectively. Mean efficiency under nonzero loads was 78.40% for PID, 82.60% for PID-DE, and 88.90% for FLC-DE. Under a 0.56 N m load disturbance, the maximum speed drop was $42.62 \pm 1.27$ rpm for PID-DE and $14.40 \pm 1.14$ rpm for FLC-DE. PID-DE provided the fastest initial response, whereas FLC-DE showed the best overshoot damping, efficiency, and load-disturbance robustness within the tested laboratory configuration. The internal control task was configured at 1 ms, while telemetry was updated at approximately 50 ms. Because *worst-case execution time*, jitter, and end-to-end latency were not measured, the real-time claim is limited to *soft real-time* architectural readiness rather than verified *hard real-time* performance.

**Keywords** : BLDC Motor, *Fuzzy Logic Control*, *Differential Evolution*, PSoC, Electric Boat

Supervisor : Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng.

Co-Supervisor : Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., IPU.