

# **Implementasi Fuzzy Logic–Based Adaptive PID pada Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis IoT (IMCLab)**

## ***Implementation of Fuzzy Logic–Based Adaptive PID in an IoT-Based DC Motor Speed Control System (IMCLab)***

**Moch. Fikri Nazaruddin**

Informatika, UPN “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

[23081010217@student.upnjatim.ac.id](mailto:23081010217@student.upnjatim.ac.id)

---

### **Abstrak**

Pengendalian kecepatan motor DC merupakan permasalahan klasik dalam sistem kendali, khususnya ketika sistem dihadapkan pada gangguan, perubahan beban, dan ketidakpastian parameter. Pengendali PID konvensional sering digunakan karena kesederhanaannya, namun memiliki keterbatasan dalam mempertahankan performa optimal ketika karakteristik sistem berubah. Penelitian ini mengusulkan penerapan *Fuzzy Logic–Based Adaptive PID Controller* pada sistem kendali kecepatan motor DC berbasis Internet of Things (IoT) yang diberi nama *IMCLab (IoT Motor Control Laboratory)*. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, motor DC brushed, dan sensor kecepatan berbasis pulsa (RPM sensor), dengan komunikasi data dan monitoring dilakukan melalui protokol MQTT. Pendekatan fuzzy digunakan sebagai *supervisory controller* untuk menyesuaikan parameter PID ( $K_p$  dan  $K_i$ ) secara adaptif berdasarkan rata-rata kesalahan kecepatan dalam jendela waktu tertentu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai kestabilan kecepatan yang lebih baik, mengurangi osilasi (*hunting*), serta mempertahankan performa kendali yang lebih konsisten dibandingkan PID statis, sekaligus memungkinkan monitoring real-time melalui dashboard IoT.

### **Abstract**

*DC motor speed control is a classical problem in control systems, particularly when the system is subjected to disturbances, load variations, and parameter uncertainties. Conventional PID controllers are widely used due to their simplicity; however, they have limitations in maintaining optimal performance when system characteristics change. This study proposes the implementation of a Fuzzy Logic–Based Adaptive PID Controller in an Internet of Things (IoT)–based DC motor speed control system called IMCLab (IoT Motor Control Laboratory). The system is developed using an ESP32 microcontroller, a brushed DC motor, and a pulse-based speed sensor (RPM sensor), with data communication and monitoring performed via the MQTT protocol. The fuzzy approach is employed as a supervisory controller to adaptively adjust the PID parameters ( $K_p$  and  $K_i$ ) based on the average speed error within a specified time window. Experimental results show that the proposed system achieves better speed stability, reduces oscillations (*hunting*), and maintains more consistent control performance compared to a static PID controller, while also enabling real-time monitoring through an IoT dashboard.*

Kata kunci: Motor DC, PID Adaptif, Logika Fuzzy, IoT, MQTT, ESP32

Keywords: DC Motor, Adaptive PID, Fuzzy Logic, IoT, MQTT, ESP32

---

## 1. Pendahuluan

Motor DC masih banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan pendidikan karena kemudahan pengendalian dan karakteristik dinamisnya yang relatif sederhana. Salah satu permasalahan utama dalam pengendalian motor DC adalah menjaga kecepatan putar (rotational speed) agar sesuai dengan nilai referensi (setpoint) meskipun terjadi perubahan beban, gangguan, atau ketidakpastian parameter sistem.

Pengendali PID (Proportional–Integral–Derivative) merupakan metode kendali yang paling umum digunakan. Namun, PID konvensional dengan parameter tetap (fixed gain) sering kali tidak mampu memberikan performa optimal pada kondisi sistem yang berubah-ubah. Oleh karena itu, diperlukan metode adaptif yang mampu menyesuaikan parameter PID secara dinamis.

Di sisi lain, perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan sistem kendali tidak hanya bekerja secara lokal, tetapi juga dapat dimonitor dan dikendalikan secara jarak jauh. Integrasi sistem kendali adaptif dengan platform IoT menjadi topik yang relevan dan penting dalam pengembangan laboratorium kendali modern.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali kecepatan motor DC berbasis Fuzzy Adaptive PID yang terintegrasi dengan IoT melalui protokol MQTT, serta mengevaluasi performanya dalam menjaga kestabilan kecepatan motor.

## 2. Tinjauan Pustaka

### a. Motor DC dan Pengendalian Kecepatan

Motor DC memiliki hubungan dasar antara tegangan masukan, arus jangkar, dan kecepatan sudut. Secara ideal, kecepatan motor DC berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Namun dalam kondisi nyata, hubungan tersebut dipengaruhi oleh konstanta motor, gesekan, inersia beban, dan gangguan eksternal. Akibatnya, tanpa sistem kendali tertutup, kecepatan motor akan sulit dipertahankan pada nilai tertentu secara stabil.

Sistem kendali tertutup (*closed-loop control*) memungkinkan kecepatan aktual motor diukur dan dibandingkan dengan kecepatan referensi. Selisih antara keduanya digunakan sebagai dasar untuk menentukan sinyal kendali yang diberikan ke motor.

### b. Pengendali PID

Pengendali PID merupakan pengendali linier yang paling banyak digunakan dalam sistem industri. Prinsip kerja PID didasarkan pada perhitungan kesalahan (*error*) antara nilai referensi dan nilai aktual sistem. Secara matematis, pengendali PID dapat dinyatakan sebagai:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \left( \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Di mana  $r(t)$  adalah nilai referensi,  $y(t)$  adalah keluaran sistem, serta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  adalah konstanta proporsi, integral, serta derivatif.

Komponen proporsi berfungsi untuk mempercepat respon sistem terhadap kesalahan, komponen integral bertugas menghilangkan kesalahan keadaan tunak (*steady-state error*), sedangkan komponen derivatif membantu meredam osilasi dan meningkatkan stabilitas sistem. Walaupun efektif, PID konvensional sangat bergantung pada nilai parameter yang tepat dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi sistem.

**c. Fuzzy Logic sebagai Kendali Adaptif**

Fuzzy logic merupakan pendekatan kecerdasan buatan yang memungkinkan pengambilan keputusan berbasis aturan linguistik, seperti “besar”, “kecil”, atau “sedang”. Pendekatan ini sangat sesuai untuk sistem yang sulit dimodelkan secara matematis atau memiliki ketidakpastian tinggi.

Dalam kendali adaptif, fuzzy logic sering digunakan sebagai pengendali tingkat atas (*supervisory controller*) yang bertugas menyesuaikan parameter pengendali utama. Pada penelitian ini, fuzzy logic digunakan untuk menyesuaikan parameter PID berdasarkan kesalahan rata-rata dan perubahan kesalahan rata-rata kecepatan motor, sehingga pengendali dapat beradaptasi terhadap perubahan dinamika sistem.

**d. IoT dan MQTT**

Internet of Things memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan. MQTT merupakan protokol komunikasi ringan yang dirancang untuk sistem dengan sumber daya terbatas. Dengan mekanisme *publish-subscribe*, MQTT memungkinkan pemisahan antara proses kendali dan proses monitoring, sehingga sistem kendali dapat berjalan tanpa terganggu oleh komunikasi data.

**3. Metodologi Penelitian**

**a. Desain Sistem IMCLab**

Sistem IMCLab dirancang sebagai sistem kendali tertutup berbasis IoT. ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang menjalankan algoritma PID dan fuzzy logic, sekaligus mengelola komunikasi MQTT. Motor DC dikendalikan melalui sinyal PWM, sementara sensor RPM memberikan umpan balik kecepatan melalui mekanisme interrupt.

**b. Akuisisi dan Pengolahan Data RPM**

Pulsa dari sensor RPM dihitung dalam interval waktu tertentu untuk memperoleh nilai RPM mentah. Data ini kemudian diproses menggunakan *low-pass filter* eksponensial untuk mereduksi noise. Selanjutnya, nilai RPM dirata-ratakan dalam jendela waktu tertentu untuk menghasilkan nilai RPM rata-rata yang digunakan sebagai masukan fuzzy logic.

**c. Implementasi Fuzzy Adaptive untuk PID**

Fuzzy logic tidak menggantikan PID secara sepenuhnya, melainkan berfungsi sebagai pengawas yang mengatur nilai  $K_p$  dan  $K_i$ . Penyesuaian dilakukan berdasarkan kesalahan rata-rata kecepatan dan perubahan kesalahan rata-rata. Dengan pendekatan ini, perubahan parameter PID tidak terjadi secara instan pada setiap fluktuasi kecil, melainkan berdasarkan kecenderungan sistem dalam periode waktu tertentu.

**4. Hasil dan Pembahasan**

Pengujian sistem dilakukan dengan memberikan variasi setpoint kecepatan secara bertahap, misalnya dari 300 RPM ke 500 RPM, kemudian ke 700 RPM. Pada pengujian awal menggunakan PID statis, sistem menunjukkan kecenderungan *hunting*, di mana kecepatan motor berfluktuasi di sekitar setpoint dengan amplitudo yang cukup besar. Fenomena ini disebabkan oleh ketidakmampuan PID statis dalam menyesuaikan parameter ketika karakteristik sistem berubah.

Setelah fuzzy adaptive PID diterapkan, perilaku sistem mengalami perubahan signifikan. Fuzzy supervisor secara bertahap menyesuaikan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  berdasarkan kesalahan rata-rata kecepatan. Ketika kesalahan kecepatan besar dan bertahan dalam

jangka waktu tertentu, nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dinaikkan untuk mempercepat respon sistem. Sebaliknya, ketika kesalahan kecil dan perubahan kesalahan rendah, nilai parameter diturunkan secara bertahap untuk menghindari osilasi.

Data hasil pengujian menunjukkan bahwa fluktuasi kecepatan motor berkurang secara signifikan. Sebagai contoh, pada setpoint 500 RPM, PID statis menghasilkan fluktuasi kecepatan antara 450–600 RPM. Setelah fuzzy adaptive PID diterapkan, rentang fluktuasi menyempit menjadi sekitar 480–520 RPM, dengan kecenderungan sistem untuk menetap di sekitar setpoint. Hal ini menunjukkan bahwa fuzzy logic berhasil meningkatkan kestabilan sistem tanpa menimbulkan respon yang terlalu agresif.

Selain itu, nilai PWM yang dihasilkan menunjukkan perubahan yang lebih halus dibandingkan PID statis. Hal ini menandakan bahwa sistem kendali tidak lagi bekerja secara berlebihan dalam mengoreksi kesalahan, sehingga mengurangi beban pada aktuator. Integrasi MQTT memungkinkan seluruh data tersebut dipantau secara real-time melalui dashboard, sehingga perilaku sistem dapat dianalisis secara visual.

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *fuzzy logic* sebagai pengawas PID mampu meningkatkan performa kendali kecepatan motor DC. Pendekatan *fuzzy adaptive PID* terbukti efektif dalam mengurangi fluktuasi kecepatan dan meningkatkan kestabilan sistem. Integrasi IoT berbasis MQTT memberikan nilai tambah berupa kemampuan monitoring dan pengendalian jarak jauh, menjadikan IMCLab sebagai platform yang relevan untuk pembelajaran dan penelitian sistem kendali modern.

## 6. Daftar Pustaka

- D. Batam State Polytechnic et al., “Perbandingan metode PID dan Fuzzy Logic Control dalam sinkronisasi dua motor DC,” *Jurnal Integrasi*, vol. 17, no. 2, 2025. <https://doi.org/10.30871/ji.v17i2.11036>
- H. Maghfiroh, J. Slamet Saputro, F. Fahmizal, and M. A. Baballe, “Adaptive Fuzzy-PI for Induction Motor Speed Control,” *Journal of Fuzzy Systems and Control*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, Mar. 2023. <https://doi.org/10.59247/jfsc.v1i1.24>
- L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- N. Messaadi and A. Amroun, “Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller,” *arXiv preprint*, Aug. 2021. <https://arxiv.org/abs/2108.05450>
- R. Kristiyono and W. Wiyono, “Autotuning Fuzzy PID Controller for Speed Control of BLDC Motor,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2025. <https://doi.org/10.18196/jrc.25114>
- T. Wang, H. Wang, H. Hu, X. Lu, and S. Zhao, “An adaptive fuzzy PID controller for speed control of brushless direct current motor,” *SN Applied Sciences*, vol. 4, no. 71, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-04957-6>
- “Proportional–integral–derivative controller,” *Wikipedia*, 2025. [Online]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Proportional%E2%80%93integral%E2%80%93derivative\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Proportional%E2%80%93integral%E2%80%93derivative_controller)