

IMPLEMENTASI REGRESI LINEAR UNTUK PREDIKSI *PWM* TERHADAP *RPM* PADA KIT *IMCLAB*

¹⁾Radendha Muhammad Arthansa

¹⁾Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, UPN “Veteran” Jawa Timur

¹⁾22081010218@student.upnjatim.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : tanggal artikel diterima

Disetujui : tanggal artikel disetujui

Kata Kunci :

isi, format, artikel.

ABSTRAK

Pengendalian kecepatan motor DC pada sistem embedded umumnya dilakukan menggunakan metode kontrol tertutup yang membutuhkan proses tuning parameter yang kompleks. Pada penelitian ini, digunakan pendekatan regresi linear untuk memprediksi nilai Pulse Width Modulation (PWM) berdasarkan target kecepatan motor dalam satuan Revolutions Per Minute (RPM) pada sistem berbasis ESP32. Data dikumpulkan dengan menaikkan nilai PWM secara bertahap dan mengukur RPM menggunakan rotary encoder. Data hasil pengukuran kemudian digunakan untuk membentuk model regresi linear yang diimplementasikan langsung pada ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai tingkat akurasi prediksi sebesar 96–98% pada rentang operasi tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa regresi linear dapat digunakan sebagai metode kendali kecepatan motor DC yang sederhana, efisien, dan ringan secara komputasi untuk aplikasi embedded system.

ARTICLE INFO

Article History :

Received : date of received article

Accepted : date of accepted article

Keywords:

content, formatting, article

ABSTRACT

Speed control of DC motors in embedded systems is commonly implemented using closed-loop control methods that require complex parameter tuning. In this study, a linear regression approach is employed to predict the required Pulse Width Modulation (PWM) value based on a target motor speed in Revolutions Per Minute (RPM) on an ESP32-based system. Data are collected by gradually increasing the PWM value and measuring the motor speed using a rotary encoder. The collected data are then used to build a linear regression model, which is directly deployed on the ESP32. Experimental results show that the system achieves a prediction accuracy of 96–98% within a specific operating range. These results indicate that linear regression can be effectively applied as a simple, efficient, and computationally lightweight method for DC motor speed control in embedded system applications.

1. PENDAHULUAN

Motor arus searah (DC) merupakan salah satu aktuator yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi otomasi, robotika, dan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Pengaturan kecepatan motor DC umumnya dilakukan dengan metode Pulse Width Modulation (PWM), di mana perubahan nilai duty cycle PWM akan memengaruhi besar tegangan rata-rata yang diterima motor dan berdampak langsung pada kecepatan putarnya. Namun, dalam praktiknya, penentuan nilai PWM yang tepat untuk mencapai kecepatan putar (RPM) tertentu sering dilakukan secara trial and error, sehingga kurang efisien dan sulit untuk direproduksi secara sistematis.

Seiring berkembangnya teknologi embedded system, mikrokontroler seperti ESP32 tidak hanya digunakan sebagai pengendali perangkat keras, tetapi juga mampu menjalankan algoritma kecerdasan buatan sederhana secara langsung di sisi perangkat (edge computing). Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk melakukan pengambilan keputusan secara mandiri tanpa ketergantungan pada komputasi eksternal. Salah satu metode kecerdasan buatan yang ringan dan mudah diimplementasikan pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya adalah regresi linear.

Regresi linear dapat digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua variabel yang memiliki kecenderungan linier, dalam hal ini hubungan antara nilai PWM sebagai variabel input dan nilai RPM motor DC sebagai variabel output. Dengan melakukan pengambilan data hubungan PWM–RPM dan membentuk model regresi linear, sistem diharapkan mampu memprediksi besaran PWM yang diperlukan untuk mencapai target RPM tertentu secara otomatis. Pendekatan ini tidak hanya menyederhanakan proses pengendalian kecepatan motor, tetapi juga meningkatkan akurasi dan konsistensi dibandingkan metode konvensional.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif, di mana dilakukan pengukuran langsung terhadap respons kecepatan motor DC (RPM) akibat perubahan nilai Pulse Width Modulation (PWM).

Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh hubungan matematis antara PWM dan RPM yang selanjutnya dimodelkan menggunakan metode regresi linear dan diimplementasikan pada sistem embedded berbasis ESP32.

2.1. Arsitektur Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu ESP32 sebagai pengendali utama, driver motor L293D sebagai aktuator motor DC, serta rotary encoder sebagai sensor kecepatan. ESP32 menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur kecepatan motor, sementara encoder digunakan untuk membaca jumlah pulsa yang kemudian dikonversikan menjadi nilai RPM. Data hasil pembacaan RPM digunakan dalam proses pengumpulan data dan evaluasi akurasi model.

2.2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menaikkan nilai PWM secara bertahap dari 0 hingga 255 menggunakan interval tertentu. Setiap perubahan nilai PWM diberikan waktu tunda agar motor mencapai kondisi stabil sebelum dilakukan pengambilan data RPM. Pembacaan RPM dilakukan menggunakan interrupt pada ESP32 untuk menghitung jumlah pulsa encoder dalam selang waktu tertentu. Data yang dihasilkan berupa pasangan nilai PWM dan RPM yang kemudian dicatat melalui Serial Monitor.

2.3. Permodelan Regresi Linear

Data hasil pengumpulan kemudian dianalisis untuk membentuk model regresi linear. Model yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan dengan persamaan:

$$PWM = m \cdot RPM + C(1)$$

Di mana m merupakan koefisien kemiringan (slope) dan c merupakan konstanta (intercept). Nilai parameter m dan c dihitung berdasarkan data hasil pengukuran PWM dan RPM. Konstanta c mencerminkan kondisi dead zone motor DC, yaitu nilai PWM minimum yang diperlukan agar motor mulai berputar.

2.4. Implementasi Model pada ESP32

Parameter regresi linear yang telah diperoleh kemudian ditanamkan ke dalam program ESP32. Sistem menerima masukan berupa nilai target RPM, kemudian menghitung nilai PWM yang sesuai berdasarkan model regresi linear. Nilai PWM hasil prediksi dibatasi

pada rentang 0 hingga 255 sebelum digunakan untuk menggerakkan motor DC melalui driver motor.

2.5. Pengujian dan Evaluasi Akurasi

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa nilai target RPM kepada sistem. Setelah nilai PWM hasil prediksi diterapkan, motor dibiarkan mencapai kondisi stabil, kemudian RPM aktual diukur menggunakan encoder. Akurasi sistem dihitung dengan membandingkan nilai RPM target dan RPM aktual menggunakan persentase kesalahan relatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menaikkan nilai PWM secara bertahap dari 0 hingga 255 dan mengukur kecepatan motor DC dalam satuan RPM menggunakan rotary encoder. Data yang diperoleh menunjukkan adanya hubungan antara nilai PWM dan RPM motor DC sebagaimana ditunjukkan pada Tabel hasil pengukuran.

Tabel 1. Hasil Pengukuran

<i>PWM</i>	<i>RPM</i>
0	0
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	300
90	2700
100	3600
110	4800
120	6000
130	6900
140	8100
150	9300
160	9900

170	10800
180	12000
190	12900
200	12900
210	14100
220	15000
230	16200
240	16800
250	17400

Berdasarkan data yang diperoleh, motor tidak menunjukkan pergerakan pada nilai PWM rendah (0–70). Motor mulai berputar pada nilai PWM sekitar 80 dan selanjutnya menunjukkan peningkatan RPM yang sebanding dengan kenaikan PWM. Hal ini mengindikasikan adanya dead zone pada motor DC, yaitu kondisi ketika nilai PWM belum cukup untuk mengatasi gesekan awal dan beban mekanik motor.

3.2. Analisis Hubungan PWM dan RPM

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa hubungan antara PWM dan RPM bersifat mendekati linear pada rentang PWM tertentu. Setelah melewati zona dead zone, peningkatan nilai PWM menghasilkan kenaikan RPM yang relatif konstan. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik umum motor DC yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan efektif (yang direpresentasikan oleh PWM) dan kecepatan putar pada kondisi beban tetap.

3.3. Hasil Pemodelan Regresi Linear

Berdasarkan data hasil pengumpulan, diperoleh model regresi linear dengan persamaan:

$$PWM = 0,0098 \cdot RPM + 70,6(2)$$

Nilai konstanta $c = 70,6$ merepresentasikan nilai PWM minimum yang diperlukan agar motor mulai berputar, sedangkan nilai koefisien kemiringan $m = 0,0098$ menunjukkan sensitivitas perubahan PWM terhadap perubahan RPM. Model ini digunakan sebagai dasar untuk memprediksi nilai PWM berdasarkan target RPM yang diberikan kepada sistem.

3.4. Hasil Implementasi Model pada ESP32

Model regresi linear yang telah diperoleh kemudian diimplementasikan langsung pada sistem berbasis ESP32. Sistem menerima masukan berupa target RPM dan menghitung nilai PWM yang sesuai menggunakan persamaan regresi linear. Nilai PWM hasil perhitungan kemudian digunakan untuk menggerakkan motor DC melalui driver motor.

Implementasi ini menunjukkan bahwa ESP32 mampu menjalankan perhitungan regresi linear secara efisien dengan sumber daya yang terbatas, sehingga pendekatan ini layak diterapkan pada sistem embedded.

3.5. Evaluasi Akurasi Prediksi

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa nilai target RPM kepada sistem. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa RPM aktual yang dicapai motor berada sangat dekat dengan nilai target. Berdasarkan perhitungan, tingkat akurasi sistem berada pada rentang 96–98%.

Selisih antara RPM target dan RPM aktual disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain fluktuasi tegangan catu daya, noise pembacaan encoder, serta perubahan karakteristik motor akibat suhu dan beban. Meskipun demikian, tingkat kesalahan yang dihasilkan masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk sistem kendali kecepatan motor berbasis open-loop.

3.6. Pembahasan Kinerja Sistem

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode regresi linear mampu merepresentasikan hubungan PWM dan RPM motor DC dengan baik pada rentang operasi tertentu. Keunggulan utama pendekatan ini adalah kesederhanaan model dan rendahnya kompleksitas komputasi, sehingga cocok diterapkan pada perangkat embedded seperti ESP32.

Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan karena bekerja secara open-loop dan tidak melakukan koreksi terhadap kesalahan secara real-time. Oleh karena itu, akurasi sistem dapat menurun apabila terjadi perubahan beban atau kondisi lingkungan yang signifikan.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode regresi linear mampu digunakan untuk memprediksi nilai PWM berdasarkan target RPM pada motor DC berbasis ESP32. Hasil pengumpulan data menunjukkan adanya hubungan yang mendekati linear antara PWM dan RPM setelah melewati zona dead zone motor.

Model regresi linear yang diperoleh berhasil diimplementasikan pada sistem embedded dan mampu menghasilkan tingkat akurasi prediksi sebesar 96–98%. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan regresi linear merupakan solusi yang efektif, sederhana, dan ringan secara komputasi untuk pengendalian kecepatan motor DC dalam sistem open-loop.

4.2. Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan antara lain:

1. Mengombinasikan regresi linear dengan metode kontrol tertutup seperti PID untuk meningkatkan kestabilan dan ketahanan sistem terhadap perubahan beban.
2. Menggunakan model regresi non-linear atau piecewise regression agar dapat merepresentasikan karakteristik motor dengan lebih akurat pada seluruh rentang PWM.
3. Menambahkan mekanisme online learning atau kalibrasi ulang untuk menyesuaikan model terhadap perubahan karakteristik motor akibat usia atau kondisi lingkungan.
4. Menggunakan sensor RPM dengan resolusi lebih tinggi untuk mengurangi noise dan meningkatkan ketelitian pengukuran.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Gökçe, C.O., İpek, M.E., Dayıoğlu, M. & Ünal, R. (2025) Parameter estimation and speed control of real DC motor with low resolution encoder, *Results in Control and Optimization*, 19, 100549. doi:10.1016/j.rico.2025.100549.
- Mthboob, M.H., AlRikabi, H.T.S. & Aljazaery, I.A. (2023) A Control System of DC Motor Speed: Systematic Review, *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*, 2(1), pp.59–73.
- Kuczmann, M. (2024) Review of DC Motor Modeling and Linear Control: Theory with Laboratory Tests, *Electronics*, 13(11), 2225.
- Polinela et al. (2024) Desain dan Implementasi Model Regresi Polinomial Kecepatan Motor DC Pada Mobile Robot, *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*.
- Politeknik Negeri Malang Authors (2025) Implementasi Operasi Linear Regression Dalam Peningkatan Respon Proporsional Motor Penggerak Robot Beroda Holonomik, *Metrotech Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 4(2). doi:10.70609/metrotech.v4i2.7217.
- Ellen Margirahayu et al. (2025) DC Motor Speed Control System with PWM Technique Based on Arduino, *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 3(3).
- Prakosa, J.A. et al. (2021) Kajian Identifikasi Model Eksperimen pada Kontrol Kecepatan Motor DC, *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 13(1), pp.27–35.
- Tom, A.M. & Febin Daya, J.L. (2025) Design of machine learning-based controllers for speed control of PMSM drive, *Scientific Reports*, 15, 17826.
- Polinela Authors (202x) Pemodelan Identifikasi Sistem untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PID, *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(1).
- SAGE Journals (2021) Reliable speed control of a permanent magnet DC motor using fault tolerant control and PWM, *SAGE Journal of Control*, 29(5).