

Infinite Impulse Response Low Pass Filter Untuk Peredaman Noise Pembacaan Kecepatan Motor Dengan Rotary Encoder

Arief Rahman Hidayat^{1*)}, Anindya Dwi Risdhayanti², M Imbarothur Mowaviq³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: arhidayat@polinema.ac.id

Received: 25/04/2026

Revised: 27/05/2026

Accepted: 28/05/2026

ABSTRAK

Pembacaan kecepatan motor DC menggunakan sensor rotary encoder sering dipengaruhi oleh noise akibat getaran mekanik, ketidakstabilan pulsa encoder, serta perubahan sinyal pada proses switching aktuator. Kondisi ini dapat menurunkan akurasi pembacaan kecepatan dan memengaruhi kestabilan sistem kontrol, terutama pada aplikasi pengendalian kecepatan berbasis PWM. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan sinyal yang sederhana namun efektif untuk meningkatkan kualitas pembacaan sensor tanpa membebani sistem komputasi mikrokontroler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh filter digital Low Pass Filter (LPF) orde-1 terhadap kualitas pembacaan sensor rotary encoder pada motor DC. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan pembacaan sensor tanpa filter dan pembacaan yang telah difilter menggunakan variasi koefisien $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,1$, dan $\alpha = 0,2$ pada target kecepatan 200 RPM. Parameter yang dianalisis meliputi reduksi noise, steady-state error, osilasi PWM, serta keterlambatan respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan LPF digital terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pembacaan rotary encoder dan mendukung kestabilan sistem kontrol kecepatan motor DC. Rentang koefisien $\alpha = 0,1$ hingga $\alpha = 0,2$ dapat dipertimbangkan sebagai parameter yang sesuai untuk menyeimbangkan kehalusan sinyal, akurasi pembacaan, dan kecepatan respons sistem.

Kata Kunci: Low Pass Filter, Motor DC, Rotary Encoder

ABSTRACT

Speed measurement of a DC motor using a rotary encoder is often affected by noise caused by mechanical vibration, instability of encoder pulses, and signal disturbances during actuator switching. These conditions can reduce the accuracy of speed measurement and affect the stability of the control system, particularly in PWM-based speed control applications. Therefore, a simple yet effective signal processing method is required to improve sensor reading quality without imposing a high computational burden on the microcontroller. This study aims to analyze the effect of a first-order digital Low Pass Filter (LPF) on the quality of rotary encoder readings in a DC motor. The research was conducted experimentally by comparing unfiltered sensor readings with filtered signals using coefficient variations of $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,1$, and $\alpha = 0,2$ at a target speed of 200 RPM. The evaluated parameters include noise reduction, steady-state error, PWM oscillation, and system response delay. The results show that the implementation of the digital LPF effectively improves the quality of rotary encoder readings and supports the stability of the DC motor speed control system. The coefficient range of $\alpha = 0.1$ to $\alpha = 0.2$ can be considered suitable for balancing signal smoothness, measurement accuracy, and system response speed.

Keywords: Low Pass Filter, DC Motor, Rotary Encoder

1. PENDAHULUAN

Pengukuran kecepatan motor DC secara akurat merupakan fondasi kritis dalam sistem kontrol gerak modern saat ini. Akurasi pembacaan ini menjadi faktor penentu dalam keberhasilan implementasi berbagai aplikasi teknologi mutakhir, terutama pada bidang robotika, otomasi industri, dan pertanian cerdas. Tanpa adanya umpan balik kecepatan yang presisi, sistem pemosisian dan pergerakan mekanis tidak akan mampu



mencapai efisiensi yang optimal. Oleh karena itu, kebutuhan akan instrumen pengukuran yang andal dan memiliki tingkat kesalahan rendah semakin meningkat seiring dengan kompleksitas tuntutan industri. Penggerak utama dari performa sistem robotik dan otomatisasi tersebut sangat bergantung pada bagaimana data kecepatan aktual diperoleh dan diproses.

Pada implementasi praktiknya, *rotary encoder* merupakan sensor kecepatan yang paling umum digunakan dalam sistem kendali karena memiliki keunggulan berupa resolusi yang tinggi serta respons yang sangat cepat [1]. Meskipun menawarkan performa tinggi, sensor ini tidak luput dari berbagai kendala teknis saat diimplementasikan di lapangan. Pembacaan pulsa dari encoder secara inheren sering kali mengandung *noise* atau gangguan yang berasal dari beberapa sumber internal maupun eksternal. Gangguan tersebut meliputi masalah kuantisasi diskrit akibat resolusi encoder yang terbatas, serta adanya jitter mekanis pada sistem roda gigi (*gearbox*). Selain itu, munculnya fenomena *contact bounce* pada encoder mekanis dan efek aliasing akibat sampling diskrit semakin memperumit proses pembacaan sinyal kecepatan yang bersih [2].

Permasalahan terkait gangguan sinyal ini terlihat sangat jelas pada penggunaan motor jenis JGA25-370 yang banyak diaplikasikan dalam sistem robotika. Motor berukuran ringkas ini sering kali dioperasikan pada lingkungan kerja yang dinamis, sehingga proses pemrosesan pembacaan kecepatannya menjadi sangat rentan terhadap *noise*. Ketika *noise* berfrekuensi tinggi dari encoder lolos ke dalam sistem, gangguan tersebut akan langsung berdampak buruk pada kinerja kontroler PI (Proportional-Integral). Akibatnya, kontroler akan salah menginterpretasikan fluktuasi *noise* sebagai perubahan kecepatan riil, yang pada akhirnya memicu terjadinya osilasi parah pada aktuator [3]. Kondisi osilasi yang tidak terkendali ini lambat laun akan merusak kestabilan gerakan robot secara keseluruhan.

Upaya agar dapat mengatasi permasalahan gangguan sinyal tersebut, penggunaan *low pass filter* (LPF) sering kali menjadi solusi teoritis utama yang dipilih oleh para perancang sistem kendali. LPF dinilai efektif untuk mereduksi *noise* berfrekuensi tinggi dengan cara meloloskan sinyal berfrekuensi rendah yang merepresentasikan kecepatan motor yang sebenarnya. Namun, implementasi filter ini memunculkan tantangan baru karena memperkenalkan efek phase lag atau keterlambatan fase pada jalur umpan balik. Keterlambatan respons sinyal ini justru dapat menurunkan stabilitas sistem kontrol dan mengganggu kalkulasi waktu nyata dari pengontrol. Fenomena dilematis ini menuntut adanya perhitungan yang matang agar fungsi peredaman *noise* tidak malah mengorbankan stabilitas performa motor.

Pemilihan parameter LPF ini perlu dipertahitungkan seperti hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Akhter [4]. Studi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan filter orde pertama dengan frekuensi *cut-off* yang diatur terlalu rendah dapat menyebabkan lonjakan *overshoot* sistem meningkat drastis hingga mencapai 30%. Fenomena *overshoot* yang tinggi ini sangat dihindari karena dapat merusak beban mekanis dan menurunkan akurasi transien motor. Di sisi lain, jika sistem dipaksakan beroperasi tanpa menggunakan filter sama sekali, sistem kendali akan mengalami pensaklaran sinyal PWM yang terlalu kontras ini tidak hanya mengganggu kestabilan putaran, tetapi juga mempercepat keausan komponen elektronik serta memperpendek umur pakai aktuator.

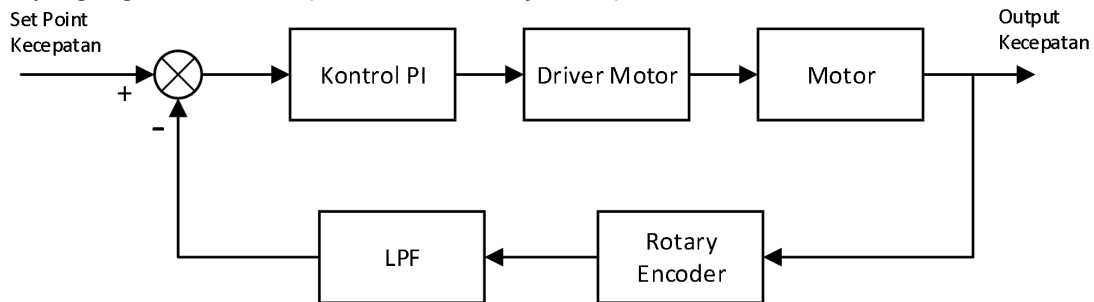
Berdasarkan celah permasalahan tersebut, penelitian ini secara khusus diarahkan untuk optimalisasi filter digital pada motor DC. Tujuan pertama dari penelitian ini adalah mengimplementasikan *first-order Infinite Impulse Response Low Pass Filter* (LPF-IIR) pada algoritma pembacaan kecepatan berbasis encoder. Selanjutnya, penelitian ini akan menganalisis pengaruh konfigurasi LPF tersebut terhadap efektivitas reduksi *noise* dan peningkatan akurasi pengukuran secara kuantitatif. Melalui serangkaian pengujian, luaran akhir penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi parameter filter yang paling optimal untuk aplikasi kontrol motor DC yang menggunakan encoder.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh penerapan Low Pass Filter (LPF) digital orde-1 terhadap kualitas pembacaan kecepatan motor DC berbasis rotary encoder. Sistem



yang dirancang merupakan sistem kendali kecepatan motor loop tertutup, di mana nilai kecepatan aktual yang dibaca oleh rotary encoder digunakan sebagai umpan balik untuk dibandingkan dengan nilai setpoint. Selisih antara setpoint dan kecepatan aktual menghasilkan sinyal error yang selanjutnya diproses oleh kontroler PI untuk menentukan sinyal kendali pada driver motor. Diagram blok sistem kendali kecepatan motor DC yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada sistem ini, pembacaan kecepatan dari rotary encoder berpotensi mengandung noise akibat getaran mekanik, ketidakstabilan pulsa encoder, dan proses switching pada aktuator. Oleh karena itu, LPF digital ditempatkan pada jalur umpan balik untuk memperhalus sinyal kecepatan sebelum digunakan kembali oleh kontroler. Dengan cara ini, sinyal feedback yang masuk ke sistem kendali menjadi lebih stabil sehingga diharapkan mampu mengurangi osilasi sinyal PWM, memperbaiki steady-state error, dan meningkatkan kestabilan respon motor.

Tahapan penelitian meliputi perancangan diagram blok sistem, estimasi kecepatan motor berdasarkan pulsa rotary encoder, penerapan filter LPF orde-1 dengan beberapa variasi koefisien, serta pengujian performa sistem pada target kecepatan tertentu. Perbandingan dilakukan antara kondisi tanpa filter dan kondisi dengan filter untuk mengetahui pengaruh nilai koefisien filter terhadap kehalusan sinyal, akurasi pembacaan, dan keterlambatan respon sistem.

2.1 Metode Estimasi Kecepatan

Encoder inkremental menghasilkan pulsa kuadratur (channel A dan B) yang frekuensinya proporsional dengan kecepatan rotasi. Penelitian ini menggunakan M-Method (Pulse Counting) dengan interval waktu tetap $\Delta t = 100 \text{ ms}$ [5]:

$$\omega = \frac{M \cdot 60}{P \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Keterangan:

- ω : kecepatan (RPM)
- M : jumlah pulsa
- P : pulsa per revolusi
- Δt : interval sampling (s)

2.2 Low Pass Filter

Bentuk persamaan LPF IIR dengan orde-1:

$$y[n] = \alpha \cdot x[n] + (1 - \alpha) \cdot y[n - 1] \quad (2)$$

Keterangan:

- $x[n]$: input (kecepatan *raw*)
- $y[n]$: output (kecepatan terfilter)



α : koefisien filter ($0 < \alpha < 1$)

Hubungan koefisien filter α dengan *time constant*.

$$\alpha = \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} \quad (3)$$

Keterangan:

τ : time constant (s)

Δt : sampling period

Sehingga dapat diperoleh nilai time constant τ dengan persamaan berikut:

$$\tau = \Delta t \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha} \quad (4)$$

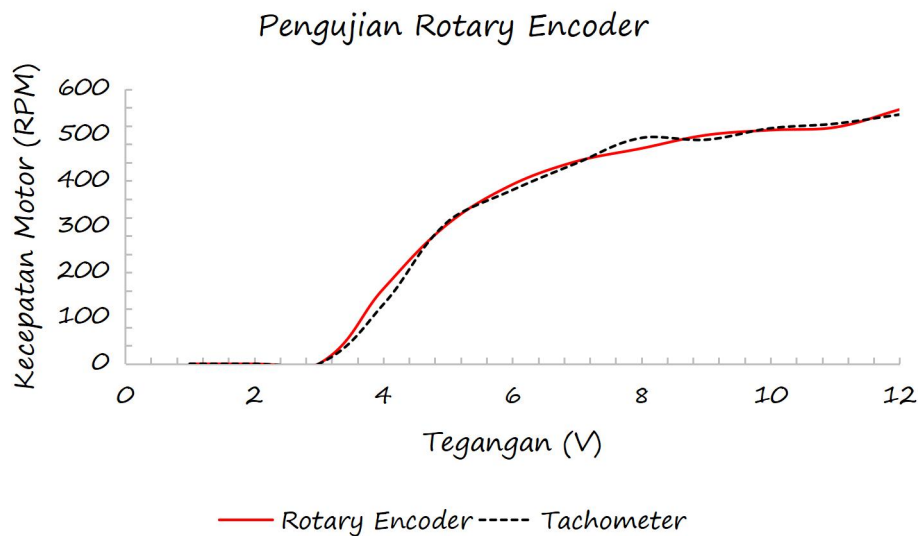
Perhitungan untuk mencari frekuensi cut-off (f_c) dalam Hz dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{\alpha}{2\pi\Delta t(1 - \alpha)} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Rotary Encoder

Pengujian rotary encoder dilakukan untuk memastikan bahwa alat dapat mengukur kecepatan dan posisi rotasi motor DC dengan akurat. Rotary encoder adalah komponen penting dalam sistem kontrol, karena menyediakan feedback yang diperlukan untuk pengendalian yang presisi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelinieran encoder dalam pembacaan putaran motor DC. Hasil perbandingan pembacaan kecepatan motor dengan rotary encoder dan alat ukur tachometer dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian Rotary Encoder

3.2 Pengujian Motor DC

Data pengujian motor merupakan data awal untuk dapat menentukan model regresi polinomial. Data pengujian ini berupa data kecepatan motor dalam satuan rpm yang dipengaruhi dari sinyal PWM.



Sinyal PWM ini dihasilkan dari mikrokontroler berupa nilai konversi digital 8-bit dalam rentang antara 0-255. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, terlihat bahwa perubahan nilai PWM memberikan pengaruh langsung terhadap kecepatan putaran motor DC. Pada nilai PWM 0 hingga 25, motor belum berputar sehingga kecepatan yang terbaca masih sebesar 0 RPM. Kondisi ini menunjukkan bahwa tegangan rata-rata yang diberikan ke motor belum mampu mengatasi torsi awal atau gaya gesek statis pada poros motor.

Tabel 1. Pengujian Motor DC

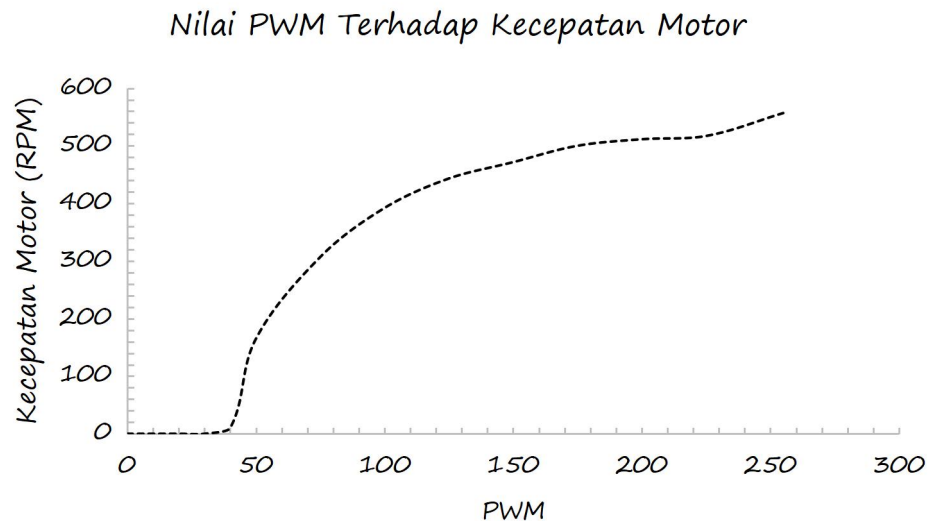
No.	PWM 8-bit (0-255)	Kecepatan Motor (RPM)
1	0	0
2	25	0
3	50	164
4	75	306
5	100	392
6	125	443
7	150	471
8	175	500
9	200	511
10	225	517
11	255	556

Motor mulai berputar ketika nilai PWM dinaikkan menjadi 50, dengan kecepatan sebesar 164 RPM. Setelah melewati titik awal tersebut, peningkatan nilai PWM menyebabkan kenaikan kecepatan motor secara bertahap. Pada PWM 75, kecepatan meningkat menjadi 306 RPM, kemudian naik menjadi 392 RPM pada PWM 100, dan mencapai 443 RPM pada PWM 125. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar duty cycle PWM yang diberikan, maka semakin besar pula tegangan rata-rata yang diterima motor sehingga kecepatan putaran motor meningkat.

Namun, pada nilai PWM yang lebih tinggi, peningkatan kecepatan motor mulai menunjukkan kecenderungan melambat. Sebagai contoh, kenaikan PWM dari 175 ke 200 hanya meningkatkan kecepatan dari 500 RPM menjadi 511 RPM, dan kenaikan PWM dari 200 ke 225 hanya menghasilkan peningkatan kecepatan menjadi 517 RPM. Kondisi ini menunjukkan adanya kecenderungan saturasi pada respon motor, di mana penambahan nilai PWM tidak lagi menghasilkan kenaikan kecepatan yang sebanding.

Pada nilai PWM maksimum 255, kecepatan motor mencapai 556 RPM. Nilai ini dapat dianggap sebagai kecepatan maksimum motor pada kondisi pengujian yang dilakukan. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa hubungan antara PWM dan kecepatan motor bersifat meningkat, tetapi tidak sepenuhnya linier. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik motor DC, beban mekanik, rugi-rugi gesek, serta batas kemampuan tegangan dan arus pada sistem penggerak motor. Data ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem kendali kecepatan motor, khususnya untuk menentukan rentang kerja motor dan memahami karakteristik respon motor terhadap perubahan sinyal PWM. Grafik perubahannya dapat dilihat pada Gambar 3.





Gambar 3. Pengujian Kecepatan Motor Terhadap Sinyal PWM

3.3 Pengujian Pembacaan Kecepatan Motor dengan Low Pass Filter

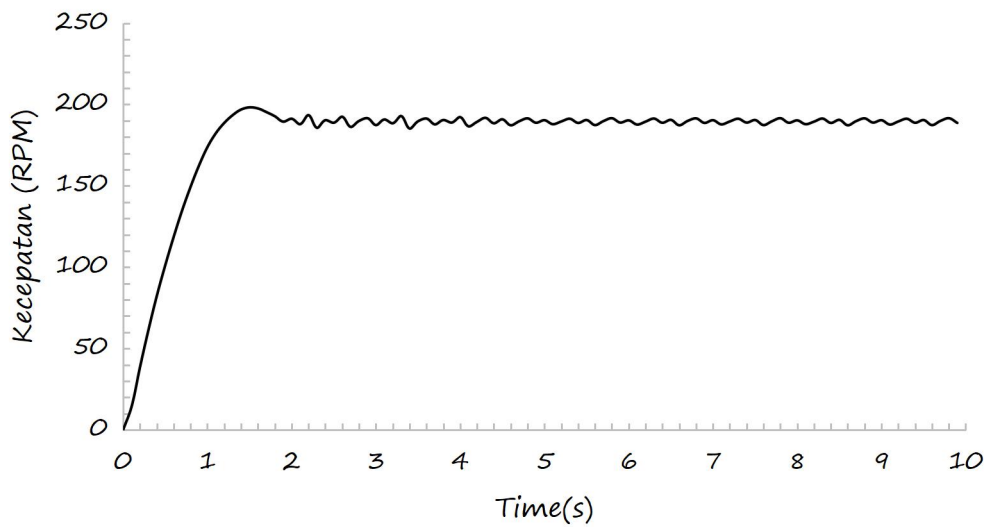
Pengujian awal pembacaan kecepatan motor tanpa menggunakan low pass filter. Hasil respon kecepatan motor tanpa LPF menunjukkan *noise* saat kondisi keadaan tunak. Hasil pengujian pembacaan kecepatan motor disertai LPF dengan koefisien $\alpha = 0.05, 0.1, 0.2$ ditunjukkan masing-masing oleh Gambar 5, 6, dan 7. Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil perbandingan seluruh LPF dengan koefisien dan LPF tanpa filter.

Pada kondisi tanpa filter, respon kecepatan motor terlihat mampu mencapai daerah sekitar setpoint dengan waktu yang relatif cepat. Namun, setelah mencapai kondisi tunak, sinyal pembacaan kecepatan masih menunjukkan osilasi atau ripple yang cukup jelas. Osilasi ini menunjukkan bahwa data hasil pembacaan rotary encoder masih mengandung noise, sehingga sinyal umpan balik yang masuk ke kontroler menjadi kurang halus.

Pada Gambar 4, pembacaan kecepatan tanpa LPF menunjukkan respon awal yang cepat, tetapi kestabilan sinyal pada kondisi steady-state kurang baik. Kecepatan motor cenderung berfluktuasi di sekitar nilai setpoint. Kondisi ini dapat disebabkan oleh variasi pulsa rotary encoder, getaran mekanik pada poros motor, serta perubahan sinyal akibat proses switching PWM. Jika sinyal feedback yang mengandung noise langsung digunakan oleh kontroler, maka kontroler akan terus melakukan koreksi kecil secara berulang, sehingga menyebabkan osilasi pada sinyal kendali dan pembacaan kecepatan.



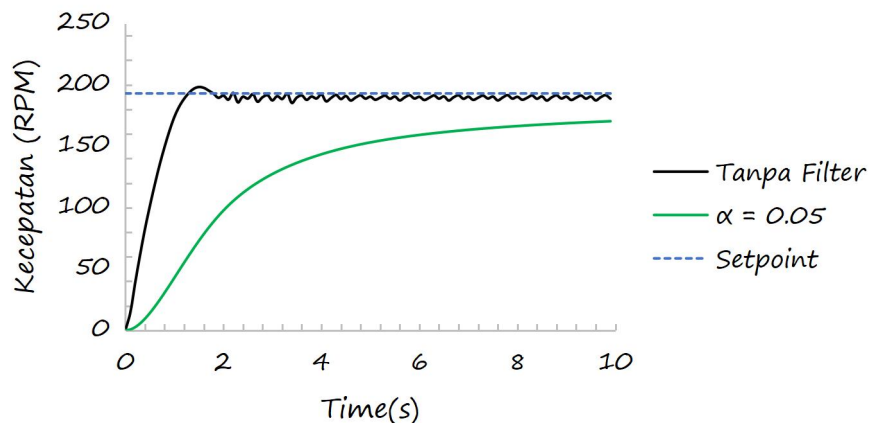
Kecepatan Motor Tanpa Low Pass Filter



Gambar 4. Hasil Pembacaan Kecepatan Motor Tanpa Disertai Low Pass Filter

Pada pengujian dengan LPF koefisien $\alpha=0,05$ yang ditunjukkan pada Gambar 5, sinyal kecepatan menjadi jauh lebih halus dibandingkan kondisi tanpa filter. Hal ini menunjukkan bahwa nilai α yang kecil memiliki kemampuan peredaman noise yang tinggi. Namun, respon sistem menjadi lebih lambat dan terjadi keterlambatan pembacaan yang cukup besar. Filter dengan $\alpha=0,05$ terlalu kuat dalam menahan perubahan sinyal, sehingga meskipun noise berkurang, informasi perubahan kecepatan aktual tidak dapat diikuti dengan cepat. Akibatnya, pembacaan kecepatan dapat menyimpang dari kondisi aktual motor, terutama pada saat transien.

Kecepatan Motor Disertai LPF Dengan Koefisien $\alpha=0.05$

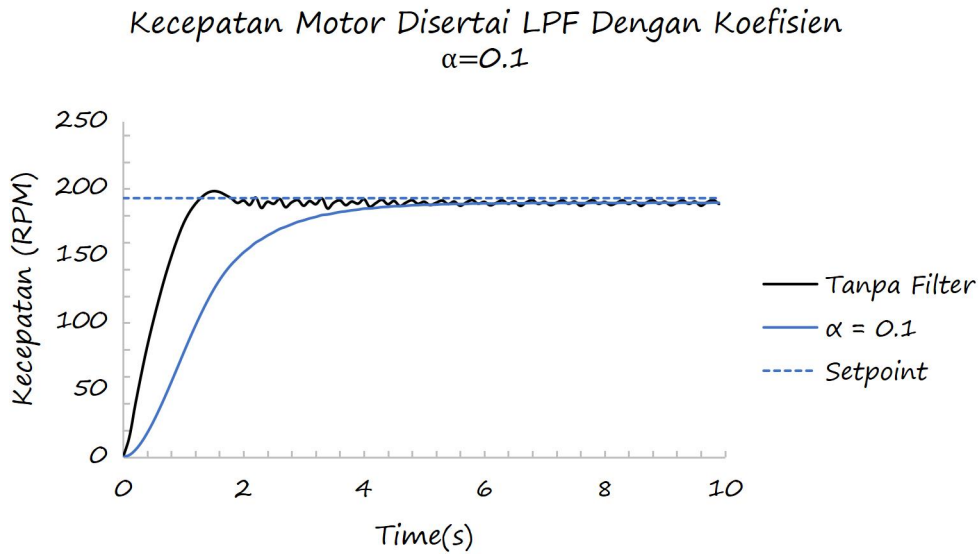


Gambar 5. Hasil Pembacaan Kecepatan Motor Disertai Low Pass Filter dengan Koefisien $\alpha=0.05$

Pada pengujian dengan LPF koefisien $\alpha=0,1$ yang ditunjukkan pada Gambar 6, sinyal hasil pembacaan terlihat lebih seimbang antara kehalusan dan kecepatan respon. Dibandingkan $\alpha=0,05$, respon sistem menjadi lebih cepat mendekati setpoint, tetapi noise tetap dapat diredam dengan cukup baik. Nilai

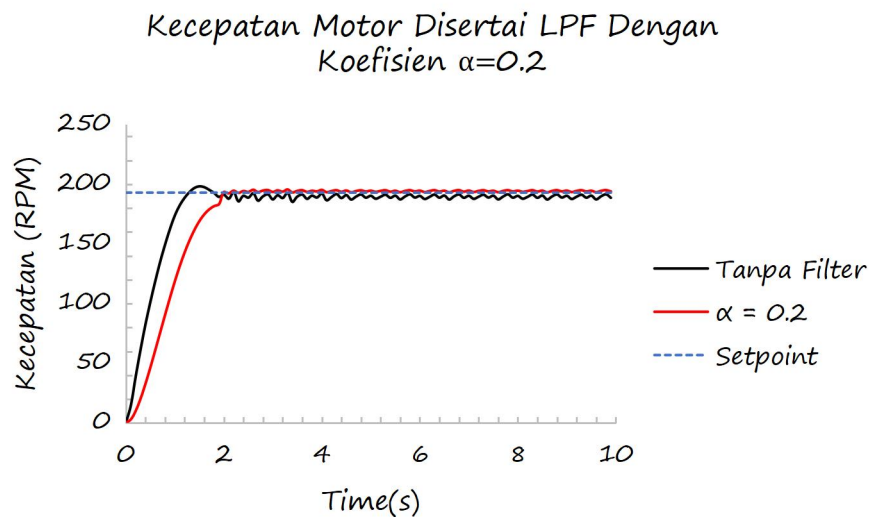


koefisien ini menunjukkan kompromi yang lebih baik karena filter masih mampu mengurangi fluktuasi pembacaan tanpa menyebabkan keterlambatan respon yang terlalu besar.



Gambar 6. Hasil Pembacaan Kecepatan Motor Disertai Low Pass Filter dengan Koefisien $\alpha=0.1$

Sementara itu, pada pengujian dengan LPF koefisien $\alpha=0.2$ yang ditunjukkan pada Gambar 7, respon sistem terlihat lebih cepat dibandingkan $\alpha=0.05$ dan $\alpha=0.1$, serta masih mampu menghasilkan sinyal yang lebih halus dibandingkan tanpa filter. Hal ini menunjukkan bahwa $\alpha=0.2$ memberikan karakteristik filter yang lebih responsif terhadap perubahan kecepatan motor. Dengan nilai α yang lebih besar, sinyal hasil filter lebih cepat mengikuti perubahan sinyal asli, sehingga keterlambatan respon menjadi lebih kecil. Namun, konsekuensinya kemampuan peredaman noise tidak sekuat nilai α yang lebih kecil.



Gambar 7. Hasil Pembacaan Kecepatan Motor Disertai Low Pass Filter dengan Koefisien $\alpha=0.2$

Secara umum, nilai koefisien α berpengaruh langsung terhadap trade-off antara kehalusan sinyal dan kecepatan respon sistem. Nilai α yang kecil menghasilkan sinyal yang lebih halus, tetapi menyebabkan



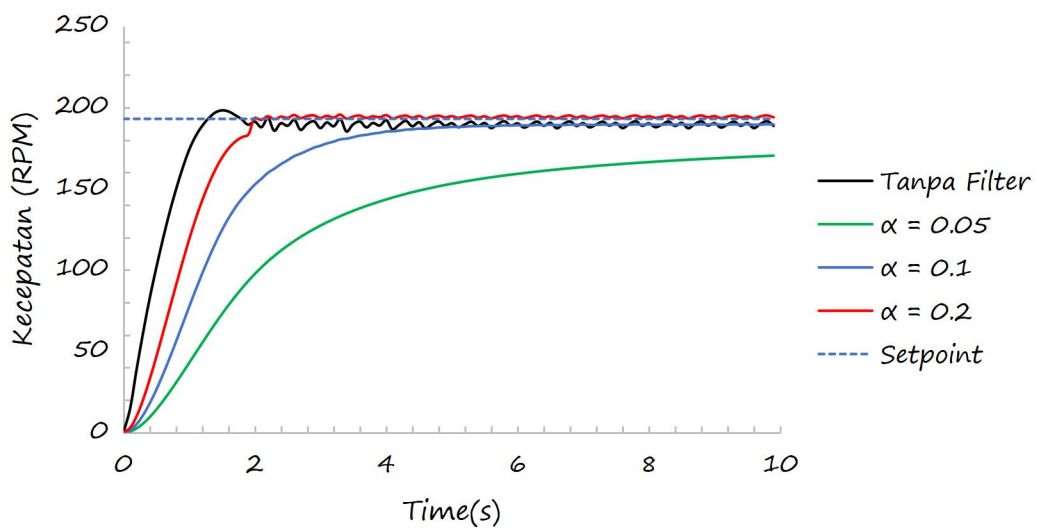
respon sistem menjadi lambat. Sebaliknya, nilai α yang lebih besar membuat respon sistem lebih cepat, tetapi kemampuan reduksi noise menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan nilai α harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem kendali. Jika sistem membutuhkan pembacaan yang sangat halus, nilai α kecil dapat digunakan. Namun, jika sistem membutuhkan respon cepat dan tetap stabil, nilai α sedang seperti 0,1 hingga 0,2 lebih disarankan.

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa filter dengan koefisien $\alpha=0,2$ memberikan performa paling seimbang. Dibandingkan kondisi tanpa filter, sinyal kecepatan menjadi lebih stabil dan osilasi pembacaan berkurang. Dibandingkan $\alpha=0,05$, respon $\alpha=0,2$ lebih cepat dalam mengikuti perubahan kecepatan motor. Dengan demikian, $\alpha=0,2$ dapat dianggap sebagai nilai yang paling sesuai pada pengujian ini karena mampu mengurangi noise tanpa memberikan keterlambatan respon yang terlalu besar.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penerapan LPF digital pada jalur umpan balik rotary encoder efektif untuk meningkatkan kualitas pembacaan kecepatan motor DC. Sinyal feedback yang lebih halus membantu kontroler bekerja lebih stabil karena kontroler tidak bereaksi secara berlebihan terhadap noise pembacaan. Dengan demikian, LPF berperan penting dalam mengurangi osilasi kecepatan, memperbaiki kestabilan respon, dan mendukung performa sistem kendali kecepatan motor berbasis PWM.

Namun demikian, penggunaan LPF juga memiliki konsekuensi berupa munculnya keterlambatan respon atau phase lag. Keterlambatan ini perlu diperhatikan karena jika nilai filter terlalu kecil, sistem dapat menjadi terlalu lambat dalam merespons perubahan kecepatan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan koefisien LPF tidak hanya didasarkan pada kemampuan mereduksi noise, tetapi juga harus mempertimbangkan kecepatan respon dan akurasi pembacaan pada kondisi steady-state.

Hasil Uji Pembacaan Kecepatan Motor Secara Keseluruhan



Gambar 8. Hasil Perbandingan Pengujian Secara Keseluruhan

3.4 Analisa Hasil

Implementasi LPF digital terbukti mampu mereduksi noise pembacaan rotary encoder sebesar 67,0–83,1%, bergantung pada nilai koefisien α yang digunakan. Nilai $\alpha=0,05$ memberikan reduksi noise tertinggi, yaitu sebesar 83,1%. Hal ini terjadi karena nilai α yang kecil menghasilkan karakteristik filter yang lebih agresif dalam meredam komponen frekuensi tinggi pada sinyal pembacaan kecepatan. Namun, peredaman yang



terlalu kuat juga menyebabkan respon sistem menjadi lebih lambat. Akibatnya, sinyal hasil filter mengalami bias steady-state sebesar $-30,2$ RPM dan menghasilkan phase lag sekitar 480 ms.

Pada koefisien $\alpha=0,1$, reduksi noise yang diperoleh sebesar 68,5% dengan phase lag sekitar 240 ms. Nilai ini menunjukkan karakteristik yang lebih seimbang dibandingkan $\alpha=0,05$, karena filter masih mampu meredam fluktuasi pembacaan encoder tanpa menghasilkan keterlambatan respon yang terlalu besar. Selain itu, bias steady-state yang dihasilkan juga lebih kecil sehingga hasil pembacaan kecepatan lebih mendekati nilai aktual.

Sementara itu, koefisien $\alpha=0,2$ memberikan reduksi noise sebesar 67,0% dengan phase lag sekitar 150 ms. Meskipun kemampuan reduksi noise sedikit lebih rendah dibandingkan $\alpha=0,05$ dan $\alpha=0,1$, nilai ini memberikan respon paling cepat dan akurasi steady-state yang lebih baik. Pada kondisi ini, steady-state error menurun dari 5,35% pada sinyal tanpa filter menjadi 2,6% setelah menggunakan LPF. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal umpan balik yang lebih halus membantu kontroler bekerja lebih stabil karena tidak merespons fluktuasi noise secara berlebihan.

Berdasarkan hasil tersebut, pemilihan koefisien LPF menunjukkan adanya trade-off antara kemampuan reduksi noise dan kecepatan respon sistem. Nilai α yang kecil menghasilkan sinyal yang lebih halus, tetapi menyebabkan phase lag dan bias pembacaan yang lebih besar. Sebaliknya, nilai α yang lebih besar memberikan respon yang lebih cepat, tetapi kemampuan peredaman noise sedikit berkurang. Dalam pengujian ini, koefisien $\alpha=0,2$ memberikan performa terbaik karena mampu menurunkan noise secara signifikan, menjaga keterlambatan respon tetap rendah, serta memperbaiki akurasi steady-state sistem.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa efektivitas *Low Pass Filter* dengan LPF-IIR orde satu berhasil mereduksi *noise* kuantisasi encoder sebesar 67% – 83%. Hasil lain yang diperoleh dengan penggunaan LPF dapat menurunkan osilasi sebesar 47–71%, dan meningkatkan stabilitas loop kontrol. Rekomendasi parameter optimal untuk motor JGA25-370 dengan sampling time 100 ms, koefisien $\alpha = 0.1-0.2$ direkomendasikan sebagai titik awal tuning. Nilai koefisien $\alpha = 0.2$ memberikan reduksi *noise* 67%, *phase lag* hanya 150 ms, dan perbaikan akurasi steady-state dari error 5.35% menjadi 2.6%. Saran untuk penelitian lanjutan dapat melakukan investigasi adaptive filter dengan α bervariasi berdasarkan kondisi operasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Li, M. Jiang, B. Luo, X. Hu, and K. Tang, "Design of Fast Second-Order IIR Low-Pass Filter Based on Parameter Optimization," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 644–650, pp. 4382–4386, Sep. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.644-650.4382.
- [2] B. Suwandi, T. Kitasuka, and M. Aritsugi, "Vehicle Vibration Error Compensation on IMU-accelerometer Sensor Using Adaptive Filter and Low-pass Filter Approaches," *J. Inf. Process.*, vol. 27, pp. 33–40, Jan. 2019, doi: 10.2197/ipsjip.27.33.
- [3] A. Aharari and Y. Ueda, "Low Pass Filter Applied to Color Sensor of Line Follower Robot," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 154, pp. 693–698, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.06.108.
- [4] M. Islam and T. Akhter, *Analysis of Performance Constraints of the Infinite Impulse Response (IIR) Filter with Various Filter Algorithms and Design a Low Pass IIR filter with Desired Specifications*. 2019.
- [5] D. Denisenko, A. Ignatovich, I. Shcherbinin, N. Prokopenko, and Y. Inanov, *Optimization of low-pass filter parameters to reduce the delay time of sensor signals in automatic control systems*. 2022. doi: 10.36227/techrxiv.19616394.v1.
- [6] M. Kumar, "Design and Implementation of Digital Low Pass FIR and IIR Filters Using VHDL for ECG Denoising," vol. 71, pp. 252–265, Jan. 2024, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V72I1P125.
- [7] M. H. Alkarim, I. Prasajo, S. Nugroho, and E. Nugroho, "PENERAPAN ALGORITMA FILTER UNTUK MENINGKATKAN AKURASI PEMBACAAN SENSOR SUHU MLX90614 PADA OBJEK DENGAN ELIMINASI PENGARUH SUHU LINGKUNGAN," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, Jul. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6621.
- [8] Y.-C. Liao, F.-I. Chou, P.-Y. Yang, K.-Y. Yang, and J.-H. Chou, "Optimal Design of Digital IIR Filters Using Robust Group Search Optimization," *Circuits, Syst. Signal Process.*, pp. 1–14, Feb. 2026, doi: 10.1007/s00034-025-03386-1.



- [9] Hidayat, "Sistem Telemonitoring Kesehatan Berbasis IoT," *J. Elkolind*, vol. 10, no. 2, pp. 45–53, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.3062.
- [10] A. R. Hidayat, A. D. Risdhayanti, Fitri, D. A. Permatasari, and W. T. Wahono, "Pemodelan identifikasi sistem untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PID," *J. Elkolind*, vol. 11, no. 1, pp. 253–262, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.5409.
- [11] A. R. Hidayat, M. I. Mowaviq, G. Al Azhar, and D. R. H. Putra, "Desain dan implementasi model regresi polinomial kecepatan motor DC pada mobile robot," *J. Elkolind*, vol. 12, no. 1, pp. 190–204, 2025, doi: 10.33795/elkolind.v12i1/7590.
- [12] M. Chougale, "Design and Implement of Speed Control of Dc Motor Using PLC," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 14, pp. 3970–3973, Apr. 2026, doi: 10.22214/ijraset.2026.80099.
- [13] I. Kurniasari and A. Ma'arif, "Implementing PID-Kalman Algorithm to Reduce Noise in DC Motor Rotational Speed Control," *Int. J. Robot. Control Syst.*, vol. 4, pp. 958–978, Jun. 2024, doi: 10.31763/ijrcs.v4i2.1309.
- [14] J. Chavan, A. Dhale, S. Latake, S. Shinde, D. Daphale, and S. Khadake, "Speed Control of DC Motor Using ESP32 and Speed Measurement in RPM," vol. 6, pp. 514–522, Apr. 2026, doi: 10.48175/IJARST-33769.

