

Penalaan PID pada Kapal Pengukur Volume Sedimen Menggunakan Simulink

Muhammad Kevin Hardiansyah¹, Sri Arttini Dwi Prasetyowati², dan Bustanul Arifin³
^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Semarang, 50112
e-mail: kevinhardian@std.unissula.ac.id

Abstrak— Sistem kontrol perlu ditala untuk memastikan bahwa sistem kontrol berfungsi dengan baik dan responsif terhadap perubahan. Penelitian berfokus pada penentuan paramter kontrol PID pada kecepatan sudut Motor DC PG45 menggunakan Simulink. Motor DC PG45 bekerja berdasarkan algoritma pemrograman Arduino yang telah dirancang sehingga dapat berputar dengan kecepatan yang telah ditentukan. Penelitian ini melakukan pemodelan sistem kapal pendeteksi sedimen pada Simulink dengan tingkat kemiripan 89.72%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode penalaan yang digunakan yaitu trial and error menghasilkan kontrol yang baik pada model sistem kapal pendeteksi sedimen yang telah dirangkai pada Simulink dengan nilai $K_p=100$; $K_i=5$; $K_d=15$ didapatkan nilai rise time = 0.2474 detik dan settling time = 0.4104 detik serta overshoot = 0.2175%.

Kata kunci: Motor DC, PID, Arduino, Pemodelan Motor DC, Simulink

Abstract— Control systems need to be tuned to ensure that they function properly and are responsive to changes. In order to complement the previous research, further research was carried out focusing on determining the PID control parameters on the angular speed of the PG45 DC Motor using Simulink. The PG45 DC motor works based on the Arduino programming algorithm that has been designed so that it can rotate at a predetermined speed. This research modeled the sediment detection ship system on Simulink with a similarity rate of 89.72%. The results of this study indicate that the tuning method used, namely trial and error, produces good control on the sediment detection ship system model that has been assembled in Simulink with the value of $K_p = 200$; $K_i = 5$; $K_d = 21$ obtained the value of rise time = 0.1733 seconds and settling time = 0.2883 seconds and overshoot = 0%.

Keywords: DC Motor, PID, Arduino, DC Motor Modeling, Simulink

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya aktivitas manusia di sepanjang aliran sungai telah memberi pengaruh terhadap ekosistem sungai. Kegiatan yang memberikan dampak terhadap sungai tersebut antara lain penebangan hutan di bagian hulu. Kegiatan ini menyebabkan meningkatnya pengikisan tanah di sepanjang aliran sungai. Sebagai dampaknya jumlah sedimen di dalam sungai (*suspended solid*) bertambah dan menyebabkan pendangkalan sungai[1].

Di Indonesia, perairan yang tercemar sering kali ditemui di sekitar pemukiman, di mana limbah rumah tangga dialirkan ke sungai, membuat air tampak kotor dan keruh. Kotoran yang larut dalam air akhirnya mengendap di dasar perairan, menyebabkan sedimentasi. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat mendeteksi sedimentasi di perairan dengan mengukur tinggi endapan sedimen di bawah air. Mengetahui adanya endapan sedimen di dasar air memungkinkan untuk mengambil tindakan pencegahan agar tidak menimbulkan pendangkalan sungai, penurunan kualitas air, dan terganggunya kehidupan akuatik.

Salah satu upaya dalam mendukung tercapainya perairan yang bersih dan mencegah pendangkalan sungai, penurunan kualitas air, dan terganggunya kehidupan akuatik adalah dengan langkah mitigasi pengangkatan sedimen. Kapal pendeteksi sedimen adalah perangkat yang dilengkapi dengan Motor DC PG45 sebagai penggerak utama dan

adjustable ultrasonic sensor sebagai pendeteksi sedimen. Alat ini menggunakan algoritma PID yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan motor DC PG45.

Sebelumnya sudah ada penelitian untuk mengukur sedimen. yang berjudul “Rancang Bangun Kapal Pengukur Volume Sedimen dengan Algoritma PID” yang dilakukan oleh Muhammad Khoirun Faza, Sri Arttini Dwi Prasetyowati, dan Bustanul Arifin pada tahun 2023. Penelitian ini merancang sebuah alat berupa kapal pengukur volume sedimen. Alat ini menggunakan algoritma PID yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan motor PG45 dan PG28. Nilai yang diukur adalah panjang, lebar, tinggi dan volume. *Adjustable infrared sensor switch* dan *rotary encoder* digunakan sebagai acuan pengukuran volume sedimen dengan memroses data berupa Arduino Mega 2560. Hasil penelitian ini alat mampu membaca volume sedimen. Didapatkan nilai perbandingan antara nilai asli dan nilai hasil pengukuran alat yang implementasikan dalam bentuk persentase nilai *error*. Dalam 10 kali percobaan didapatkan rata-rata nilai *error* panjang sebesar 2,13 %, lebar sebesar 7,09 %, tinggi sebesar 0,95 %, dan volume sebesar 4,74 % [2].

Melengkapi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang melakukan penalaan PID dengan berinteraksi langsung dengan perangkat, pada penelitian ini penalaan PID dilakukan dengan menggunakan fitur Simulink *tool* dari *software* Matlab. Kontrol PID perlu ditala untuk motor DC agar sistem dapat mencapai performa yang diinginkan. Penalaan PID

menggunakan software memiliki beberapa keuntungan yaitu menghemat usia pakai komponen, mempercepat proses penalaan, eksplorasi kombinasi parameter PID yang lebih bebas, dan konsistensi hasil dengan masukan yang sama.

Struktur dari artikel ini adalah: bagian II Studi Pustaka

II. STUDI PUSTAKA

A. Arduino Mega 2560 R3

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat sumber terbuka, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya memiliki prosesor Atmel AVR dan software memiliki bahasa pemrograman sendiri. Sumber dari Arduino Mega 2560 R3 ini dapat diambil dari koneksi USB atau dapat bersumber melalui power supply eksternal. Sumber eksternal dapat diambil dari power adaptor atau baterai.

Board ini dapat beroperasi dengan sumber eksternal yang mempunyai tegangan dari 6 hingga 20 volt. Apabila tegangan sumber yang diberikan kurang dari 7 volt, maka pin 5 volt akan memasok tegangan kurang dari 5 volt dan board Arduino akan bekerja tidak stabil. Dan apabila menggunakan tegangan input lebih dari 12 volt, maka regulator tegangan akan overheat dan membuat board Arduino rusak[2].

Arduino Mega 2560 R3 memiliki 16 buah input analog yang masing-masing pin analognya mempunyai resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi analog Reference().

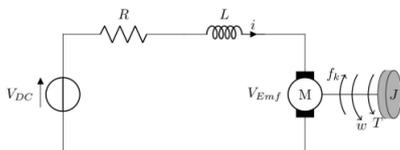
B. Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem merupakan suatu cara yang digunakan untuk memperoleh model dari suatu sistem yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil masukan dan keluaran yang didapatkan dari hasil percobaan[3]. Untuk melakukan proses identifikasi sistem dapat dilakukan dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut yaitu[4]:

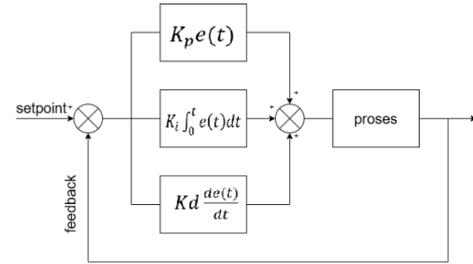
- 1) Pada sistem yang akan diidentifikasi harus tersedia data masukan dan keluarannya
- 2) Pemilihan struktur model
- 3) Estimasi parameter-parameter model
- 4) Validasi model yang telah diidentifikasi

C. Model Matematis Motor DC

Motor DC digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena kemudahannya kecepatan dapat dikontrol. Dalam sistem pengendalian posisi dan kecepatan, motor DC menjadi aktuator yang paling umum digunakan sebagai komponen pengendali akhir. Operasional motor DC mengikuti prinsip hukum Lorentz, di mana ketika arus mengalir melalui kumparan armature motor DC dan kumparan medan diberikan eksitasi, akan menghasilkan Gaya Lorentz pada setiap bagian kumparan armature[5].



Gambar 1. Rangkaian penampang motor DC



Gambar 2. Blok diagram pengendali PID

D. Kontrol PID

Proportional-integral-derivative (PID) merupakan kontrol mekanisme umpan balik yang sering digunakan di dunia industri. Kendali PID digunakan dalam system loop tertutup yang memiliki umpan balik dari keluaran sistem untuk mencapai respons yang diinginkan. Kontrol PID terdiri dari proporsional, integral dan derivatif dan saling memiliki pengaruh terhadap yang lain.

Fungsi esensial dari kontroler adalah meminimalisasi error, yang didefinisikan sebagai deviasi antara nilai setpoint dan output aktual plant. Dalam hal ini, setpoint berperan sebagai nilai referensi yang ditargetkan, sementara output plant merepresentasikan nilai riil yang terukur. Efektivitas sistem kontrol dinilai dari kemampuannya menekan nilai error sekecil mungkin.

Dalam operasinya, kontroler menjalankan tiga fungsi sekuensial: membandingkan nilai aktual plant dengan nilai referensi (setpoint), menghitung besaran error yang terjadi, dan menghasilkan sinyal kendali untuk mereduksi error[6].

Kendali PID memiliki masukan berupa sinyal error e(t) dan keluaran berupa sinyal kontrol u(t). Hubungan antara masukan dan keluaran pengontrol PID ditunjukkan pada persamaan (1).

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Tipe pengontrol proporsional Kp akan memberikan pengaruh pengurangan nilai rise-time tetapi tidak menghapus nilai steady-state error. Kontrol integral Ki akan memberikan pengaruh menghilangkan error steady state tetapi menurunkan respons transient. Sedangkan pengontrol derivatif Kd akan memberikan pengaruh meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi nilai overshoot.

III. METODE

A. Objek Penelitian

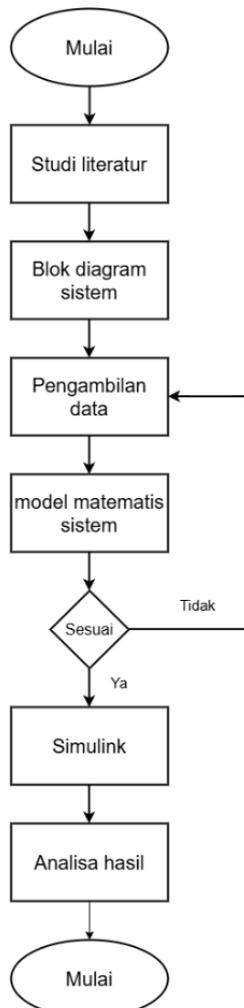
Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Riset Fakultas Teknologi Industri Unissula. Objek penelitian adalah kapal pendeteksi sedimen milik FTI. Sedangkan objek pengujian adalah motor DC PG45.



Gambar 3. Kapal pendeteksi sedimen FTI Unissula

B. Alur Penelitian

Metode penelitian kuantitatif, data yang dikumpulkan melalui percobaan, studi literatur, dan observasi langsung terhadap objek penelitian kemudian dilakukan analisis.



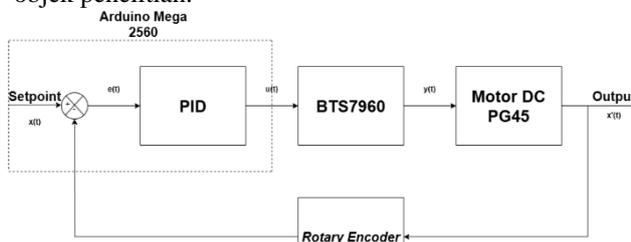
Gambar 4. Flowchart penelitian

1) Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan teori-teori yang menjadi dasar penelitian. Studi tersebut mencakup pemahaman tentang teori, konsep, dan metode yang relevan untuk membangun kerangka berpikir yang logis dan terstruktur. Sumber literatur dapat berupa buku, karya ilmiah, jurnal, artikel di internet yang mendukung penulisan laporan ini.

2) Blok diagram sistem

Untuk memahami hubungan antar subsistem, langkah awal adalah membuat blok diagram sistem dari objek penelitian.



Gambar 5. Blok diagram sistem

Keterangan:

- a) *Input* referensi $x(t)$, berupa target kecepatan putar motor dalam RPM.
- b) *Error* sistem $e(t)$, yang mengindikasikan deviasi antara nilai *setpoint* dan nilai aktual.
- c) Tegangan kontrol $u(t)$ dengan rentang 0-5 Volt
- d) Tegangan *output* $y(t)$ dalam rentang 0-24 Volt.
- e) Kecepatan aktual motor $x'(t)$ yang terukur dalam RPM.

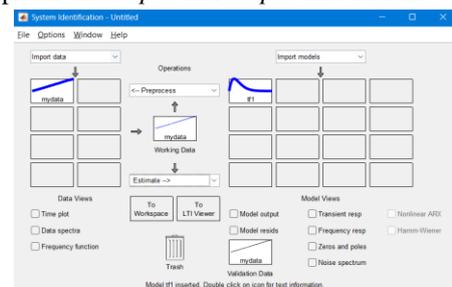
3) Pengambilan data
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah tegangan masukan dan kecepatan putar motor. Data tegangan masukan diperoleh dengan pengukuran pada motor driver BTS7960, sedangkan data kecepatan putar motor didapatkan dengan pengukuran pada as motor menggunakan takometer dan menggunakan program arduino. Dilakukan dua pengukuran sebagai validasi data.

$$\%error = \left| \frac{\text{pengukuran takometer} - \text{pengukuran serial monitor}}{\text{pengukuran takometer}} \right| \times 100 \quad (2)$$

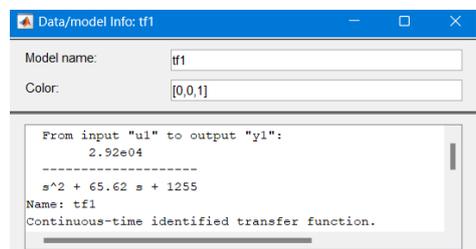
$$\frac{2.92e04}{s^2 + 65.62s + 1255} \quad (3)$$

4) Pemodelan matematis sistem

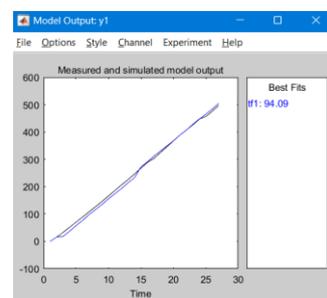
Model matematis dapat dicari menggunakan *System Identification Tool* pada aplikasi Matlab. *System Identification Tool* pada Matlab adalah alat untuk membuat model matematika, dan didasarkan pada pengumpulan data *input* dan *output* dari sistem.



Gambar 6. Antarmuka System Identification pada Matlab



Gambar 7. Model matematis motor DC PG45

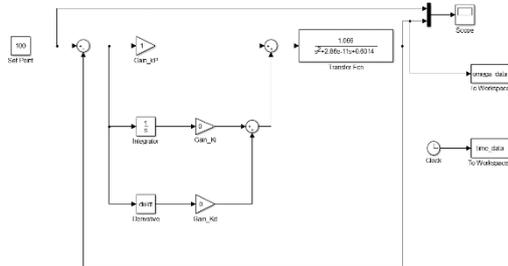


Gambar 8. Grafik model output

Model yang telah dibuat memiliki kemiripan sebesar 94.09% dengan sistem riil.

5) Simulink

Simulink digunakan untuk menyimulasikan sistem kapal pendeteksi sedimen kemudian dilakukan penalaan pada kontrol PID. PID perlu ditala untuk memastikan bahwa sistem kontrol berfungsi dengan baik dan responsif terhadap perubahan.



Gambar 9. Antarmuka simulink dari sistem

Nilai pada blok Kp, Ki, dan Kd dapat diubah-ubah untuk menghasilkan keluaran yang sesuai atau paling mendekati setpoint.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian motor DC PG45

Setelah dilakukan pengujian pada motor PG45, didapatkan data masukan tegangan dan keluaran kecepatan putar motor seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian motor DC PG45

PWM	Tegangan masukan (V)	Takometer (RPM)	Serial monitor (RPM)	Error relative (%)
0	0	0	0	0
10	0.8	15.7	15.63	0.446
20	1.6	33	33.13	0.394
30	2.5	51.8	51.88	0.154
40	3.3	70.4	70.31	0.128
50	4.2	89.1	89.01	0.101
60	5	108	108.44	0.407
70	5.8	127.1	127.88	0.613
80	6.7	146.1	147.19	0.748
90	7.5	166.3	166.88	0.349
100	8.3	186.2	186.88	0.364
110	9.2	206.6	207.19	0.285
120	10	225.7	226.25	0.244
130	11.7	246.3	246.88	0.236
140	12.5	267.6	267.81	0.078
150	13.4	288.7	288.75	0.017
160	14.2	303.1	301.88	0.403
170	15	324.6	327.38	0.857
180	15.8	345.9	345.63	0.078
190	16.7	367	367.50	0.136
200	17.5	388.4	386.88	0.392
210	18.3	406.6	404.76	0.452
220	19.2	427.6	426	0.374
230	20	447.7	447.88	0.040
240	20.8	456.2	467.19	2.409
250	21.7	475.9	476.56	0.138
255	22.4	497	495	0.402
Rata-rata %error				0.38

Pada tabel 1 terdapat kolom PWM, Tegangan masukan (V), Takometer (RPM), Serial monitor (RPM), dan Error relative(%). Nilai error relative didapatkan menggunakan persamaan (2).

Proses pengujian ini bertujuan mengidentifikasi hubungan antara perubahan tegangan masukan dengan dinamika kecepatan rotasi motor DC.



Gambar 10. Grafik hubungan perubahan PWM terhadap kecepatan putar motor DC PG45

Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear antara nilai PWM dan kecepatan putar motor (RPM). Saat PWM meningkat, RPM juga meningkat, perubahan PWM terhadap kecepatan putar motor menunjukkan bahwa kontrol PWM efektif dalam mengatur kecepatan motor.

Perbandingan antara kecepatan putar yang diukur dengan takometer dan yang diukur melalui serial monitor menunjukkan bahwa kedua metode pengukuran memberikan hasil yang sangat mirip. Error relatif rata-rata sebesar 0.38% menunjukkan bahwa sistem pengukuran berbasis arduino cukup akurat. Error relatif bervariasi dari 0.017% hingga 2.409%. Nilai error yang lebih tinggi pada beberapa titik misalnya pada PWM 240 mungkin disebabkan oleh faktor eksternal atau ketidakstabilan dalam pengukuran. Sebagian besar error relatif berada di bawah 1%, menunjukkan konsistensi yang baik dalam pengukuran.

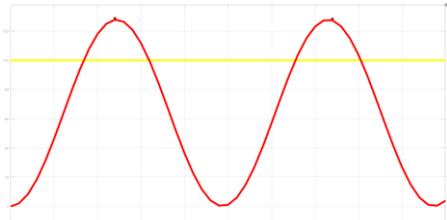
B. Pengujian simulink

Setelah dilakukan pengujian penalaan menggunakan simulasi sistem pada simulink, didapat hasil pengujian seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian penalaan pada simulink

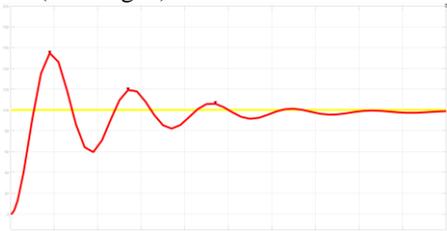
No.	Kp	Ki	Kd	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)
1	1	0	0	1.1107	NaN	27.7919
2	1	0	1	NaN	NaN	NaN
3	10	0	1	0.3605	NaN	50.6155
4	10	1	1	0.3551	9.6262	54.6773
5	10	5	1	0.3357	NaN	70.0437
6	10	5	5	0.6288	5.0123	13.7091
7	10	5	10	1.1647	6.9236	18.7689
8	20	5	10	0.7829	7.2569	6.7491
9	50	5	10	0.3133	0.4872	1.3698
10	70	5	10	0.2192	0.6179	4.4933
11	70	5	15	0.3776	0.6531	0.7181
12	100	5	15	0.2474	0.4104	0.2175

Dengan kombinasi masukan pada percobaan 1, didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk menuju setpoint (rise time) adalah 1.1107 detik, melampaui setpoint (overshoot) sebesar 27.7919%, dan tidak bisa mencapai kondisi stabil (settling time).



Gambar 11. Grafik respon sistem percobaan 1

Dengan kombinasi masukan pada percobaan 4, didapatkan nilai *rise time* 0.3551 detik, *settling time* 9.6262 detik, dan namun nilai *overshoot* terlalu besar yaitu 50.6155%. Terlihat di Gambar 12, grafik mulai mendekati garis *setpoint* (konvergen).



Gambar 12. Grafik respon sistem percobaan 4

Dengan kombinasi masukan pada percobaan 9, didapatkan nilai *rise time* 0.3133 detik, nilai *settling time* 0.4872 detik, dan nilai *overshoot* menurun menjadi 1.3698%. Pada percobaan 9 dilakukan dengan menaikkan nilai K_p , hal ini selaras dengan teori ketika menaikkan nilai K_p akan mengurangi *rise time*.



Gambar 13. Grafik respon sistem percobaan 9

Dengan kombinasi masukan pada percobaan 12, didapatkan nilai *rise time* 0.2474 detik, nilai *settling time* 0.4104 detik, dan nilai *overshoot* 0.2175%. Pada percobaan 12 didapatkan hasil yang paling mendekati *setpoint*.



Gambar 14. Grafik respon sistem percobaan 12

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan terhadap motor DC PG45 dan penyimulasian sistem kapal pendeteksi sedimen di Simulink, didapati kesimpulan:

- Motor DC PG45 pada kapal pendeteksi sedimen FTI Unissula memiliki unjuk kerja yang baik. Perbandingan antara masukan dan keluaran motor DC ini berbanding lurus.
- Penalaan parameter kontroler PID yang dilakukan melalui simulasi pada perangkat lunak Simulink

menghasilkan grafik respon sistem yang memuaskan, dengan nilai *rise time* sebesar 0,2474 detik, *settling time* sebesar 0,4104 detik, serta *overshoot* yang tergolong sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,2175%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki respon yang cepat, stabil, dan minim osilasi melampaui titik *set point*.

- Dari hasil analisis terhadap pengaruh parameter kontrol PID, diketahui bahwa perubahan nilai K_p (proportional gain) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *rise time* atau waktu naik sistem. Sementara itu, penyesuaian nilai K_d (derivative gain) berdampak pada pengurangan nilai *overshoot* dan juga memperbaiki *settling time* atau waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil. Dengan demikian, pemilihan dan penyesuaian parameter K_p dan K_d sangat penting untuk mendapatkan performa sistem yang optimal.

VI. REFERENSI

- [1] C. Asdak, *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Ugm Press, 2023.
- [2] M. K. Faza, S. A. D. Prasetyowati, and B. Arifin, "Rancang Bangun Kapal Pengukur Volume Sedimen dengan Algoritma PID," *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC)*, vol. 5, no. 2, pp. 111–125, 2023.
- [3] F. Mangkusamito, D. Y. Tadeus, and A. Subari, "Implementasi Identifikasi Sistem Metode Black Box Pada Motor Dc Menggunakan Correlation Analysis Dan Model Arx," *Gema Teknologi*, vol. 20, no. 4, pp. 134–139, 2020.
- [4] F. F. Fahmizal and R. Susanto, "Identifikasi sistem motor dc dan kendali linear quadratic regulator berbasis arduino-simulink matlab," *LQR*, vol. 12, p. 13, 2018.
- [5] D. M. Ionel, O. P. Malik, V. Rallabandi, and N. Taran, "Electric Machines: Motors and Drives," in *Standard Handbook for Electrical Engineers*, 17th ed., S. Suryanto and H. W. Beaty, Eds., New York: McGraw-Hill Education, 2017, pp. 919–960.
- [6] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.