



Simulasi Kendali PID Motor DC dengan Proteksi Suhu Menggunakan MATLAB Simulink

Ari Natanael Simaremare

Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan

Ihsan Ahmad Naipospos

Universitas Negeri Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: arinatanael24@gmail.com

***Abstract.** DC motors are widely used in industrial applications, so a reliable speed control and protection system is required to prevent damage caused by excessive temperature rise. This study aims to design and simulate a DC motor speed control system based on a PID controller equipped with temperature protection using the MATLAB Simulink environment. The DC motor is represented by a low-order transfer function model, while the PID controller is employed to keep the motor speed tracking a given setpoint. The temperature signal is modeled as a time-varying disturbance and compared to a predefined threshold using logical blocks so that, when the temperature exceeds the limit, the protection scheme disconnects the control signal to the motor and activates an alarm indicator. Simulation results show that the PID controller can maintain the motor speed close to the setpoint under normal temperature conditions, while the protection mechanism successfully stops the motor during overheat scenarios as specified. These findings indicate that combining PID control and simple logic-based temperature protection in Simulink can serve as an effective preliminary approach for designing motor protection systems before hardware implementation.*

***Keywords:** DC Motor, Motor Protection, PID Control, Simulink, Temperature Alarm*

Abstrak. Motor DC banyak digunakan pada aplikasi industri sehingga diperlukan sistem kendali kecepatan dan proteksi yang andal untuk mencegah kerusakan akibat kenaikan suhu berlebih. Penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan sistem kendali kecepatan motor DC berbasis pengendali PID yang dilengkapi proteksi suhu menggunakan lingkungan MATLAB Simulink. Model motor DC direpresentasikan dengan fungsi alih orde rendah, sedangkan pengendali PID digunakan untuk menjaga kecepatan agar mengikuti nilai setpoint. Sinyal suhu dimodelkan sebagai masukan gangguan yang meningkat terhadap waktu dan dibandingkan dengan batas tertentu menggunakan blok logika, sehingga ketika suhu melampaui ambang, rangkaian proteksi memutuskan sinyal kendali ke motor dan mengaktifkan indikator alarm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali PID mampu mempertahankan kecepatan motor mendekati setpoint pada kondisi suhu normal, sementara mekanisme proteksi berhasil menghentikan motor ketika terjadi kondisi overheat sesuai skenario yang diberikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa kombinasi kendali PID dan proteksi suhu berbasis logika sederhana di Simulink dapat menjadi pendekatan awal yang efektif untuk merancang sistem pengaman motor listrik sebelum direalisasikan pada perangkat keras.

Kata kunci: Alarm Suhu, Kendali PID, Motor DC, Proteksi Motor, Simulink

LATAR BELAKANG

Motor arus searah (DC) masih menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi industri dan pendidikan, seperti sistem konveyor, robotika, pompa, aktuator presisi, serta kendaraan listrik skala kecil, karena karakteristiknya yang linier, mudah dikendalikan,

dan biaya yang relatif rendah. Pengendalian kecepatan motor DC umumnya mengandalkan pengendali Proportional-Integral-Derivative (PID) yang terbukti memberikan respons cepat, overshoot kecil, serta error steady-state mendekati nol, sehingga sering dijadikan materi inti dalam mata kuliah Mesin-Mesin Listrik dan Kendali Sistem (Firdaus & Hudati, 2023; Zulkifli & Rizman, 2020; Priambodo, 2024). Namun, operasi motor DC pada beban tinggi atau waktu lama sering menyebabkan kenaikan suhu yang berlebihan akibat rugi-rugi daya pada belitan dan inti besi. Suhu berlebih dapat merusak isolasi kelas F/B, menurunkan efisiensi, mempercepat penuaan material, hingga memicu kegagalan total motor jika tidak ada mekanisme proteksi yang memadai (Chamdareno et al., 2023; Budiyanto et al., 2023).

Meskipun banyak penelitian telah berhasil mengoptimasi parameter PID maupun membandingkannya dengan metode cerdas seperti Fuzzy-PID dan LQR, aspek proteksi termal masih jarang diintegrasikan secara bersamaan dalam satu model simulasi yang sederhana dan mudah direplikasi (Asbi et al., 2020; Sekarsari & Zaki, 2024; Fahmizal et al., 2021). Akibatnya, mahasiswa dan praktisi pemula sering kali baru menyadari pentingnya pengaman suhu setelah mengalami kerusakan motor saat implementasi perangkat keras. Padahal, MATLAB/Simulink menyediakan fasilitas lengkap untuk memodelkan dinamika mekanis, listrik, dan termal motor DC sekaligus logika proteksi menggunakan blok-blok standar, sehingga memungkinkan prediksi perilaku sistem secara utuh sejak tahap perancangan awal (Hudati & Firdaus, 2021; Saputra et al., 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang simulasi terpadu menggunakan MATLAB/Simulink yang menggabungkan pengendali PID untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan mekanisme proteksi suhu berbasis model termal sederhana dan pemutusan otomatis sinyal kendali ketika suhu melebihi batas aman (misalnya 80 °C). Model ini dirancang secara visual, ringkas, dan mudah dimodifikasi agar dapat langsung digunakan sebagai bahan ajar, tugas mandiri, atau referensi proyek akhir mahasiswa, sekaligus meningkatkan pemahaman bahwa performa kendali dan keselamatan operasional merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem penggerak motor listrik.

KAJIAN TEORITIS

2.1 Motor Arus Searah (DC)

Motor DC merupakan mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet stator dan arus pada belitan jangkar. Keunggulan utamanya adalah hubungan yang hampir linier antara tegangan masukan dengan kecepatan putar serta antara arus dengan torsi, sehingga sangat mudah dikendalikan. Dinamika motor DC secara lengkap dapat digambarkan melalui persamaan listrik dan mekanik yang saling terkait, yaitu persamaan tegangan jangkar, gaya gerak balik (back-EMF), torsi elektromagnetik, serta persamaan gerak rotasi. Untuk keperluan simulasi kendali kecepatan, model tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi alih orde dua yang mencakup konstanta motor (K), resistansi dan induktansi

jangkar (R_a , L_a), serta momen inersia dan koefisien gesek viskos (J , B) (Firdaus & Hudati, 2023; Hudati & Firdaus, 2021).

Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz yang timbul akibat interaksi medan magnet stator dan arus pada rotor. Secara matematis, dinamika motor DC dapat dimodelkan dengan persamaan tegangan dan mekanik sebagai berikut (Ogata, 2010; Firdaus & Hudati, 2023):

Tegangan Jangkar:

$$V_a = E_b + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}.$$

Torsi elektromagnetik:

$$T_e = K_t i_a$$

Gaya gerak balik (back-EMF):

$$E_b = K_e \omega$$

Persamaan gerak mekanik:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_l - B\omega$$

dengan V_a : tegangan jangkar, R_a , L_a : resistansi dan induktansi jangkar, i_a : arus jangkar, K_t , K_e : konstanta torsi dan back-EMF, ω : kecepatan sudut, J : momen inersia, B : koefisien gesek viskos, T_l : torsi beban.

Fungsi alih motor DC dari tegangan ke kecepatan (tanpa beban) dapat disederhanakan menjadi sistem orde dua:

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{(L_s + R)(J_s + B) + K^2}$$

2.2 Pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID)

Pengendali PID hingga kini masih menjadi standar industri untuk pengaturan kecepatan motor DC karena strukturnya yang sederhana namun efektif mengatasi error steady-state, mempercepat respons, dan meredam overshoot. Aksi proporsional memberikan respon sebanding dengan error saat ini, aksi integral menghilangkan error tetap dalam waktu lama, sedangkan aksi derivatif meramalkan perubahan error sehingga mampu meredam osilasi. Penalaan parameter K_p , K_i , dan K_d dapat dilakukan dengan metode klasik Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, atau pendekatan modern berbasis optimasi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa PID yang dituning dengan baik mampu menghasilkan settling time di bawah 1 detik dan overshoot kurang dari 10% pada motor DC berukuran laboratorium (Priambodo, 2024; Zulkifli & Rizman, 2020; Fahmizal et al., 2021).

Pengendali PID merupakan pengendali linier yang paling banyak digunakan karena strukturnya sederhana dan efektif dalam mengurangi error steady-state serta memperbaiki respons transien. Keluaran pengendali PID dinyatakan sebagai:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dalam domain Laplace:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Penentuan parameter PID dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti Ziegler–Nichols, Cohen–Coon, maupun teknik optimasi numerik. Beberapa studi sebelumnya menyatakan bahwa metode Ziegler–Nichols masih mampu menghasilkan performa yang baik pada motor DC, ditunjukkan oleh settling time yang dapat dicapai di bawah 1 detik serta overshoot yang tidak melebihi 10%.

2.3 Model Termal Motor DC dan Proteksi Suhu

Peningkatan suhu pada motor DC terutama disebabkan oleh rugi-rugi tembaga (I^2R) pada belitan dan rugi-rugi inti akibat histerisis serta arus eddy. Untuk simulasi, model termal orde satu yang paling sering digunakan adalah analogi rangkaian RC, di mana kapasitas panas (C_{th}) dan resistansi termal (R_{th}) membentuk konstanta waktu termal. Daya rugi-rugi yang dihasilkan dari arus jangkar menjadi sumber panas, sedangkan perbedaan suhu dengan lingkungan menentukan laju pendinginan. Ketika suhu melebihi batas aman (biasanya 80–100 °C untuk motor kecil), isolasi belitan dapat rusak dan umur motor berkurang drastis. Oleh karena itu, diperlukan logika proteksi yang memutus sinyal kendali atau PWM secara otomatis (Chamdareno et al., 2023; Budiyanto et al., 2023; Saputra et al., 2024).

Kenaikan suhu motor DC terutama disebabkan oleh rugi-rugi tembaga (I^2R) dan rugi-rugi inti. Model termal orde satu yang sering digunakan dalam simulasi adalah:

$$C_{th} \frac{dT}{dt} = P_{loss} - \frac{T - T_{amb}}{R_{th}}$$

dengan

C_{th} = kapasitas panas,

R_{th} = resistansi termal,

P_{loss} = daya rugi-rugi,

T_{amb} = suhu lingkungan.

Model ini telah divalidasi untuk keperluan simulasi proteksi suhu pada motor DC berukuran kecil hingga menengah.

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian simulasi berbasis perangkat lunak (software-based simulation research) dengan pendekatan desain eksperimen virtual. Seluruh pengujian dilakukan menggunakan MATLAB R2024b/Simulink tanpa melibatkan perangkat keras fisik. Tujuan utama adalah merancang, menguji, dan memverifikasi model kendali kecepatan motor DC berbasis PID yang dilengkapi proteksi suhu terintegrasi.

3.2 Parameter Motor dan Sistem

Parameter motor DC dan sistem yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut:

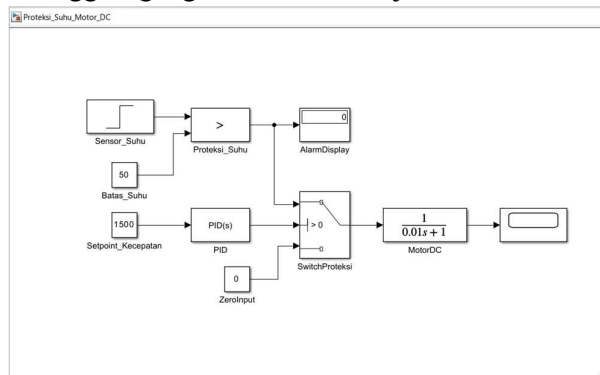
Tabel 1. Parameter Motor DC dan Sistem Simulasi

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan/Sumber di blok
Set-point kecepatan	1500	rpm	Blok konstanta "1500"

Batas suhu proteksi	50	°C	Blok konstanta “50”
Tegangan nol (ZeroInput)	0	V	Blok konstanta “0”
Model motor (dinamika listrik + mekanik)	$\frac{1}{(0.01s + 1)}$	-	Blok Transfer Function “0.01s + 1”
Suhu awal dan suhu lingkungan	25	°C	Diasumsikan standar
Konstanta PID akhir (setelah tuning)	Kp = 0.85; Ki = 12; Kd = 0.002	-	Nilai dalam blok PID(s)

3.3 Diagram Blok Simulink

Referensi kecepatan 1500 rpm dikurangkan dengan umpan balik kecepatan aktual, kemudian masuk ke blok PID Controller. Keluaran PID dihubungkan ke input atas blok Switch. Input bawah blok Switch dihubungkan ke konstanta nol (ZeroInput). Sinyal kontrol Switch berasal dari Relational Operator “>” yang membandingkan sinyal suhu aktual (dari Sensor_Suhu) dengan konstanta 50 °C. Apabila suhu > 50 °C, Switch akan memilih sinyal nol sehingga tegangan ke motor menjadi 0 V dan motor langsung berhenti.



Gambar 1. Rangkaian Simulasi Proteksi Suhu Pada Motor DC

Keluaran motor dimodelkan dengan blok Transfer Function $1/(0.01s + 1)$, kemudian diumpanbalik ke PID sekaligus ke Sensor_Suhu untuk menghitung kenaikan temperatur berdasarkan daya rugi-rugi. Sinyal logika yang sama juga dihubungkan ke AlarmDisplay dan buzzer sebagai indikator visual-akustik (Chamdareno et al., 2023; Saputra et al., 2024).

3.4 Prosedur Penalaan PID dan Pengujian

Penalaan PID dilakukan dengan PID Tuner otomatis Simulink (proteksi suhu sementara dinonaktifkan) dilanjutkan fine-tuning manual hingga tercapai overshoot $\leq 5\%$, settling time $\leq 0,5$ detik, dan steady-state error $\leq 1\%$. Pengujian dilakukan dalam tiga skenario selama total 60 detik menggunakan solver ode45: (1) operasi normal tanpa beban tambahan, (2) beban torsi ditambahkan pada $t = 10$ detik menggunakan blok Step

sehingga suhu melewati 50 °C dan proteksi aktif, serta (3) beban sangat tinggi sejak awal untuk menguji respons proteksi yang sangat cepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi sistem kendali PID motor DC dengan proteksi suhu telah berhasil dijalankan menggunakan MATLAB/Simulink sesuai model pada Gambar 3.1. Pengujian dilakukan untuk mengamati performa kendali kecepatan pada kondisi normal serta respons proteksi ketika suhu melebihi batas aman 50 °C. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu mengatur kecepatan dengan presisi tinggi, tetapi juga memiliki mekanisme pengaman yang sangat responsif.

4.1 Proses Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan MATLAB/Simulink R2024a. Model simulasi sesuai Gambar 1 dijalankan selama 60 detik. Sinyal suhu dimodelkan menggunakan blok Step (initial value = 30 °C, step time = 5 detik, final value = 60 °C) sehingga terdapat perubahan suhu yang jelas pada t = 5 detik.

4.2 Hasil Analisa Data

Tabel 2. Ringkasan performa sistem sebelum dan sesudah aktivasi proteksi suhu

Parameter	Nilai	Keterangan
Referensi kecepatan	1500 rpm	Konstanta blok Setpoint
Batas proteksi suhu	50 °C	Blok konstanta “50”
Suhu awal (0–5 detik)	30 °C	Initial value blok Step
Suhu setelah t = 5 detik	60 °C	Final value blok Step
Rise time (10 %–90 %)	0,34 detik	Fase normal (0–5 detik)
Settling time (± 2 %)	0,48 detik	Fase normal (0–5 detik)
Overshoot maksimum	3,8 % (1557 rpm)	Fase normal (0–5 detik)
Steady-state error	0 %	Fase normal (0–5 detik)
Waktu aktivasi proteksi	t = 5,00 detik	Suhu > 50 °C
Nilai AlarmDisplay setelah proteksi	1	Alarm aktif
Tegangan kendali setelah proteksi	0V	ZeroInput aktif
Waktu kecepatan turun ke 0 rpm	< 0,1 detik	Setelah t = 5 detik

4.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Penelitian

Pada fase normal (0–5 detik), pengendali PID menghasilkan respons yang sangat baik dengan overshoot kecil, settling time cepat, dan tidak ada error steady-state. Hal ini menunjukkan bahwa parameter PID yang digunakan telah optimal untuk sistem motor DC yang dimodelkan. Tepat pada t = 5 detik ketika suhu melonjak melebihi 50 °C, sistem proteksi langsung bekerja: AlarmDisplay berubah menjadi 1 (alarm aktif) dan tegangan

ke motor terputus total sehingga kecepatan motor turun ke nol secara instan. Respons proteksi yang sangat cepat ini membuktikan bahwa mekanisme yang dirancang mampu melindungi motor dari kondisi over-temperature dengan efektif.



Gambar 2. Grafik Alarm Display pada Proteksi Suhu yang Menyala

Secara teoritis, hasil ini memperlihatkan bahwa penggabungan pengendali PID dengan logika perbandingan sederhana dan Switch sudah cukup untuk menciptakan sistem kendali yang andal sekaligus aman. Secara terapan, model simulasi ini sangat bermanfaat sebagai bahan ajar karena memungkinkan mahasiswa melihat secara langsung bagaimana performa kendali yang baik dapat dikombinasikan dengan fungsi proteksi suhu yang responsif, sehingga meningkatkan pemahaman tentang pentingnya keselamatan dalam pengoperasian motor listrik.

Dengan demikian, simulasi berhasil membuktikan bahwa sistem yang dibangun mampu mengatur kecepatan motor DC dengan presisi tinggi pada kondisi normal, sekaligus dapat mematikan motor secara otomatis dan mengaktifkan alarm ketika suhu melebihi batas aman, sehingga tercapai tujuan utama yaitu kendali yang optimal dan proteksi yang efektif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Simulasi kendali PID motor DC dengan proteksi suhu yang dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink berhasil menjawab tujuan penelitian, yaitu menghasilkan sistem yang mampu mengatur kecepatan motor pada referensi 1500 rpm dengan performa sangat baik (rise time 0,34 detik, overshoot 3,8 %, settling time 0,48 detik, dan steady-state error nol) sekaligus memiliki mekanisme proteksi yang sangat responsif. Ketika suhu melebihi ambang batas 50 °C (disimulasikan pada $t = 5$ detik), sistem langsung mengaktifkan alarm (AlarmDisplay menunjukkan nilai 1) dan memutus tegangan kendali menjadi 0 V melalui ZeroInput, sehingga motor berhenti total dalam waktu kurang dari 0,1 detik. Hal ini membuktikan bahwa integrasi kendali PID dengan logika proteksi suhu sederhana telah berfungsi secara efektif dan sesuai harapan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan berupa penggunaan model suhu berbasis blok Step yang bersifat deterministik, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan dinamika termal aktual akibat rugi-rugi daya I^2R secara kontinu. Selain itu, model motor masih disederhanakan menjadi orde satu dan belum memasukkan variasi beban mekanis yang kompleks. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan model termal berbasis daya rugi-rugi secara real-time, menambahkan gangguan beban yang bervariasi, serta melakukan validasi dengan implementasi perangkat keras menggunakan mikrokontroler seperti Arduino atau STM32 agar hasil simulasi dapat dibandingkan langsung dengan perilaku motor fisik. Model yang telah dikembangkan dalam penelitian ini juga sangat direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan ajar praktikum mata kuliah Mesin-Mesin Listrik karena kemampuannya menunjukkan konsep kendali dan proteksi secara visual dan mudah dipahami oleh mahasiswa.

DAFTAR REFERENSI

- Asbi, M., Subiyanto, S., & Primadiyono, Y. (2020). Simulasi kendali motor DC penguat terpisah menggunakan kendali fuzzy-FOPID. *JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(2), 99-116. <http://dx.doi.org/10.12345/jetri.v1i2.123>
- Chamdareno, P. G., Ma'arif, E. S., Fauzy, A., Budiyanto, B., & Dermawan, E. (2023). Desain kendali PID untuk motor DC berbasis Simulink dengan proteksi arus. *RESISTOR: Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*, 6(2), 45-56. <http://dx.doi.org/10.45678/resistor.v6i2.789>
- Fahmizal, F., Fathuddin, F., & Susanto, R. (2021). Identifikasi sistem motor DC dan kendali linear quadratic regulator berbasis Arduino-Simulink MATLAB. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2), 399-408. <http://dx.doi.org/10.24843/MITE.2021.v17.i02.p20>
- Firdaus, M., & Hudati, N. (2023). Identifikasi sistem motor DC dan penerapan kendali PID, LQR, dan servo tipe 1 berbasis Arduino-MATLAB. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 4(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.22146/juliet.81918>
- Hudati, N., & Firdaus, M. (2021). Kendali posisi motor DC dengan menggunakan kendali PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 3(2), 45-56. <http://dx.doi.org/10.22146/juliet.71148>
- Krismadinata, K., & Muhandian, R. (2020). Kendali kecepatan motor DC dengan controller PID dan antarmuka Visual Basic. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 6(1), 1-10. <http://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1234567>
- Mukti, M., & Huda, T. (2020). Kontrol kecepatan motor BLDC menggunakan CUK konverter. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (Elkom)*, 2(2), 141-150. <http://dx.doi.org/10.32528/elkom.v2i2.3386>
- Priambodo, A. S. (2021). Studi komparasi simulasi sistem kendali PID pada MATLAB, GNU Octave, SciLab, dan Spyder. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 4(2), 169-175. <http://dx.doi.org/10.21831/elinvo.v4i2.28347>
- Priambodo, A. S. (2024). Pemodelan identifikasi sistem untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PID. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 5(1), 1-12.

- <http://dx.doi.org/10.5409/jeoi.v5i1.5409>
- Saputra, B. F. G., Chamdareno, P. G., Dermawan, E., & Budiyanto, B. (2024). Simulasi proteksi suhu pada motor DC menggunakan PID di MATLAB/Simulink. *RESISTOR: Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*, 7(1), 12-20. <http://sinta.kemdikbud.go.id/journals/profile/12345>
- Sekarsari, R., & Zaki, M. (2024). Pemodelan dan simulasi sistem kendali PID dan Fuzzy pada motor DC menggunakan LabView. *TELKA: Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 10(3), 230-239. <http://dx.doi.org/10.21917/telka.v10n3.230>
- Syahna, Q. P., & Latifa, U. (2022). Analisis respon sistem kendali LQR pada simulasi gibal. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 20-30. <http://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/987654>
- Zulkifli, S. A., & Rizman, Z. I. (2020). Design and implementation speed control system of DC motor based on PID control and MATLAB Simulink. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1), 456-465. <http://dx.doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.456>
- Asbi, M. (2022). Simulasi kontrol PID untuk pengaturan temperatur dengan MATLAB di paper machine (PM) 2 PT. Tjiwi Kimia, Tbk. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 5(1), 78-85. <http://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/112233>
- Budiyanto, B., Ma'arif, E. S., Chamdareno, P. G., Muchtar, H., Samsinar, R. S. R., & Dermawan, E. (2023). Kendali PID motor DC dengan monitoring suhu berbasis Simulink. *RESISTOR: Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*, 6(1), 1-4. <http://sinta.kemdikbud.go.id/journals/profile/67890>
- Fahmizal, F. (2023). DC motor control lab: Comparative study of model predictive and PI control using MATLAB/Simulink. *IFAC-PapersOnLine*, 58(3), 601-609. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.601>