



Simulasi dan Penalaan PID pada Kapal Pengukur Volume Sedimen Menggunakan MATLAB Simulink

Christin Hutagaol¹, Desmira^{2*}, Nur Rohima Oktiana³, Muhammad Akmal Raihan⁴, Egi Tri Saputra⁵, Adam Falrain Wibowo⁶

¹⁻⁶ Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

*Penulis Korespondensi: desmira.dma@bsi.ac.id²

Abstract. *The research aimed to evaluate the accuracy of control system simulations using MATLAB Simulink by comparing the results with those from reference journals. This study employed simulations and comparative analysis without any hardware testing. The system model and control parameters were derived from the reference journal, and simulations were conducted to obtain the system response in the form of time-domain waveforms. The analysis focused on comparing key system response characteristics, including target point attainment speed, overshoot, and steady-state stability. The results revealed that the waveform of the simulation response closely matched the patterns observed in the reference journal, with a high degree of agreement in terms of response characteristics. MATLAB Simulink simulations were validated as a reliable tool for system response analysis, as the small differences observed did not significantly impact the overall conformity of the response characteristics. This study confirms that MATLAB Simulink is effective for validating control system performance based on reference journal simulations.*

Keywords: Control System; MATLAB Simulink; Overshoot; Reference Journal; Simulation.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi simulasi sistem kontrol menggunakan MATLAB Simulink dengan membandingkan hasilnya dengan hasil dari jurnal referensi. Studi ini menggunakan simulasi dan analisis komparatif tanpa pengujian perangkat keras. Model sistem dan parameter kontrol diperoleh dari jurnal referensi, dan simulasi dilakukan untuk mendapatkan respons sistem dalam bentuk gelombang domain waktu. Analisis difokuskan pada perbandingan karakteristik respons sistem utama, termasuk kecepatan pencapaian titik target, overshoot, dan stabilitas keadaan tunak. Hasilnya menunjukkan bahwa bentuk gelombang respons simulasi sangat sesuai dengan pola yang diamati dalam jurnal referensi, dengan tingkat kesepakatan yang tinggi dalam hal karakteristik respons. Simulasi MATLAB Simulink divalidasi sebagai alat yang andal untuk analisis respons sistem, karena perbedaan kecil yang diamati tidak secara signifikan memengaruhi kesesuaian keseluruhan karakteristik respons. Studi ini menegaskan bahwa MATLAB Simulink efektif untuk memvalidasi kinerja sistem kontrol berdasarkan simulasi jurnal referensi.

Kata kunci: Jurnal Referensi; MATLAB Simulink; Overshoot; Simulasi; Sistem Kontrol.

1. LATAR BELAKANG

Ketika teknologi sistem kendali dan otomasi berkembang, motor DC menjadi lebih populer untuk berbagai aplikasi, seperti sistem kapal pendeteksi sedimen. Untuk sistem kapal pendeteksi sedimen, kestabilan dan ketepatan kecepatan motor sangat berpengaruh terhadap kinerja navigasi dan akurasi proses pendeteksian sedimen. Motor DC dipilih karena memiliki karakteristik respon yang cepat dan mudah dikendalikan, sehingga sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan pengaturan kecepatan yang presisi. Namun, ketidakstabilan kecepatan motor, seperti overshoot atau respon yang lambat, dapat terjadi karena perubahan beban dan gangguan di sekitarnya, yang mengakibatkan penurunan kinerja sistem. Untuk menyelesaikan masalah ini, diperlukan sistem kendali yang dapat mengoptimalkan respons motor dan stabilitas. Karena efektif dan memiliki struktur yang sederhana, kontrol PID (Proportional–Integral–Derivative)

adalah metode kendali yang umum digunakan. Akan tetapi, untuk melakukan penalaan kontrol PID dengan aman dan efisien, simulasi menggunakan MATLAB Simulink dilakukan sebelum diterapkan pada sistem nyata. Ini karena kinerja kontrol PID sangat bergantung pada proses penalaan parameter K_p , K_i , dan K_d . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan dan melakukan penalaan kontrol PID pada motor DC PG45 untuk mendapatkan respons sistem yang stabil yang memenuhi persyaratan sistem kapal pendeteksi sedimen.

2. KAJIAN TEORITIS

Michael Faraday memperkenalkan desain awal motor Direct Current (DC), sebuah perangkat elektromagnetis yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan torque atau percepatan yang tinggi untuk kisaran kecepatan yang luas. Torsi biasanya merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dalam arah dan jarak tertentu.

Motor DC merupakan motor arus searah yang berfungsi mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik, memiliki dua terminal, serta banyak digunakan karena kemudahannya dalam pengaplikasian dan pengaturan kecepatan, namun dalam operasinya kecepatan motor DC dapat mengalami penurunan akibat perubahan beban sehingga diperlukan sistem kendali, seperti pengaturan tegangan jangkar menggunakan DC chopper dan kontrol PI, agar kecepatan dapat dipertahankan tetap konstan meskipun terjadi beban dinamis.

Karena kemampuan mereka untuk menghasilkan torsi awal yang besar, pengaturan kecepatan yang mudah, dan respons yang cepat terhadap perubahan beban, motor DC sangat digunakan dalam sistem produksi, conveyor, mesin perkakas, penggerak industri berat, dan peralatan otomatisasi. Ini karena motor ini dapat diatur kecepatan putarnya dengan mengatur tegangan jangkar, arus medan, atau dengan menggunakan konverter daya seperti chopper DC.

Motor listrik arus searah (DC) banyak digunakan karena memiliki torsi awal yang besar, respons yang cepat, dan pengaturan kecepatan yang relatif mudah melalui pengaturan tegangan jan. Prinsip kerja motor DC adalah bahwa mereka mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik melalui putaran poros.

Motor DC adalah perangkat elektromekanik yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi listrik arus searah (Direct Current) menjadi energi mekanik melalui gerak putar, yang memungkinkan mereka untuk menggerakkan berbagai sistem dan peralatan. Prinsip kerja motor ini terletak pada interaksi antara medan magnet dan arus listrik yang mengalir pada kumparan jangkar, yang menyebabkan torsi yang menggerakkan rotor. Karena mereka lebih sederhana daripada jenis motor lainnya, motor DC banyak digunakan dalam

industri dan robotika. Ini karena mereka memiliki kecepatan yang mudah diatur dan respons yang cepat.

Sistem kontrol PID menggunakan metode PID close loop dan terdiri dari tiga buah kontrol: Propotional (P), Derivative (D) dan Integral (I). Setiap buah kontrol memiliki keunggulan dan kelemahan dalam responsnya, dan kombinasi ketiga kontrol ini bertujuan untuk memaksimalkan sistem dalam mencapai setpoint yang telah diberikan. Nilai K_p , K_i , dan K_d harus diatur oleh sistem selama aplikasinya agar sinyal respons keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

PID merupakan mekanisme umpan balik proporsional, integral, dan derivatif, banyak digunakan dalam sistem kontrol industri untuk mengatur kecepatan motor DC agar mencapai kondisi stabil dengan meminimalkan kesalahan antara setpoint dan variabel proses yang diukur. Aksi proporsional merespons kesalahan saat ini, aksi integral mengumpulkan kesalahan untuk menghilangkan kesalahan steady state, dan aksi derivatif memprediksi perubahan kesalahan pistol.

Pada sistem kendali PID berfungsi untuk mengontrol posisi dan respons motor DC agar mencapai setpoint yang diinginkan dengan meminimalkan error antara input dan output sistem. Dalam proses ini, aksi proporsional (K_p) mempercepat respons, aksi integral (K_i) menghilangkan error steady state, dan aksi derivatif (K_d) mengurangi overshoot dan meningkatkan kestabilan. Akibatnya, sistem dapat menghasilkan respons yang lebih cepat, stabil, dan akurat dibandingkan dengan sistem tanpa pemicu.

Tiga parameter utama yang mempengaruhi sifat-sifat controller PID jurnal tersebut adalah proporsional (K_p), integral (K_i/T_i), dan derivatif (K_d/T_d). Masing-masing parameter memberikan karakteristik yang berbeda terhadap respons sistem. Misalnya, K_p cenderung mempercepat naik waktu tetapi dapat meningkatkan overshoot, K_i yang berfungsi untuk menghilangkan kesalahan steady state tetapi dapat memperbesar overshoot dan memperlambat settling time, dan K_d yang membantu menghilangkan kesalahan steady state tetapi dapat memperbesar overshoot.

Sistem kontrol PID memiliki tiga cara pengaturan: proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D). Kontrol proporsional bekerja dengan menghasilkan sinyal kendali yang sebanding dengan besarnya kesalahan, sehingga mampu mempercepat naik waktu, tetapi tidak dapat menghilangkan kesalahan steady state sepenuhnya dan dapat meningkatkan overshoot jika nilainya terlalu tinggi. Kombinasi keduanya digunakan untuk mendapatkan respons sistem yang cepat, konsisten, dan akurat sesuai kebutuhan pengendalian.

Simulink adalah program Matlab yang berbasis diagram blok. Simulink dapat membuat model sistem nonlinear yang kompleks dengan komponen kontinu dan diskrit. Model Simulink dapat menghasilkan animasi grafis yang menunjukkan kemajuan simulasi secara visual, secara signifikan meningkatkan pemahaman tentang perilaku sistem. Di masa lalu untuk mengembangkan model komputer sistem dinamik dimulai dari diagram blok diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman. Praktek ini melibatkan duplikasi usaha, karena sistem dan pengontrol harus dijelaskan dua kali sekali dalam bentuk diagram blok dan dalam bahasa pemrograman

Sistem kendali sangat penting untuk proses produksi modern karena sangat memengaruhi efisiensi, keandalan, dan keselamatan. Dengan kemajuan teknologi yang cepat, sistem kendali menjadi lebih kompleks dan canggih, menggabungkan berbagai alat dan teknik untuk mengontrol dan memantau operasi mesin secara real-time. Artikel ini membahas sistem kendali analog dan digital serta teknologi terbaru dalam sistem kendali otomatis, seperti Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI). Metode penelitian seperti tinjauan literatur, analisis sistem, dan studi kasus,

Sistem kontrol, juga dikenal sebagai sistem kendali, adalah kumpulan komponen yang terhubung satu sama lain untuk mencapai tujuan tertentu, yaitu mengatur atau mengendalikan suatu sistem. Ada dua jenis sistem kontrol, yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup.

Sistem kendali mengatur dan mengarahkan suatu proses agar menghasilkan keluaran (output) yang sesuai dengan nilai yang diinginkan (setpoint) melalui mekanisme pengendalian tertentu. Ini memungkinkan sistem untuk mempercepat respon, menjaga stabilitas, dan mengurangi kesalahan (error) antara nilai aktual dan nilai referensi. Sistem kendali melakukan ini dengan memantau keluaran melalui umpan balik, kemudian membandingkannya dengan nilai aktual. Meskipun ada gangguan dari luar, sistem dapat mempertahankan kondisi steady state dengan pengendalian yang tepat. Akibatnya, sistem kendali banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keandalan proses atau peralatan industri.

Dalam sistem pengaturan kecepatan yang dikendalikan dengan metode kontrol PID, motor DC berfungsi sebagai aktuator utama. Ini dimodelkan dan diidentifikasi karakteristik dinamisnya untuk mendapatkan model matematis yang tepat. Aplikasi yang membutuhkan pengaturan kecepatan yang tepat, seperti robotika, mesin industri, dan kendaraan listrik, membutuhkan sistem kontrol yang dapat memberikan respons cepat, stabil, dan memiliki error steady state yang kecil. Motor DC digunakan dalam aplikasi ini. Proses pemodelan, identifikasi

sistem menggunakan sinyal PRBS, analisis observabilitas dan kontrolabilitas, dan penerapan kontrol PID dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian menunjukkan bahwa motor DC berfungsi sebagai sistem dinamis yang dikontrol untuk menghasilkan kecepatan sesuai setpoint dengan efisiensi dan keandalan, dengan settling time 2,5 detik, overshoot maksimum 3,45%, dan error steady state 0.

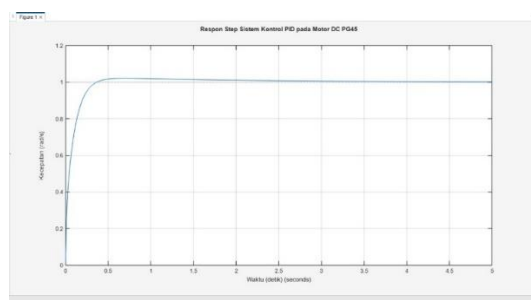
3. METODE PENELITIAN

Metode simulasi dan studi komparatif digunakan dalam penelitian ini. Studi ini mempelajari dan mereplikasi hasil simulasi MATLAB Simulink yang telah dipublikasikan pada jurnal sebelumnya, kemudian menguji kecocokan antara hasil simulasi yang diperoleh dengan bentuk gelombang respon sistem pada jurnal referensi. Penelitian ini tidak melakukan pengujian perangkat keras, tetapi berkonsentrasi pada analisis model dan respon sistem berbasis simulasi.

Data penelitian diperoleh melalui penelitian literatur tentang jurnal rujukan, yang memuat hasil, model sistem, dan parameter simulasi MATLAB Simulink. Kemudian, kami menggunakan diagram blok dan parameter dari jurnal rujukan untuk merekonstruksi model simulasi pada lingkungan MATLAB Simulink. Setelah itu, simulasi dilakukan untuk menghasilkan respon sistem dalam bentuk gelombang waktu dengan kondisi dan masukan yang setara. Hasil simulasi dianalisis dengan membandingkan bentuk gelombang respon sistem terhadap hasil simulasi pada jurnal rujukan. Analisis kecocokan dilakukan secara visual dan berdasarkan atribut sistem seperti waktu naik, overshoot, waktu tunak, dan kesalahan steady-state. Tingkat kesesuaian respons digunakan sebagai indikator validitas model simulasi yang direkonstruksi. Berdasarkan temuan analisis, kesimpulan dibuat tentang keandalan dan konsistensi simulasi MATLAB Simulink dalam menggambarkan sistem yang dikaji.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Sistem Motor DC PG45



Gambar 1. Hasil Gelombang Simulasi.

Hasil simulasi sistem motor DC PG45 menggunakan MATLAB Simulink menunjukkan respons sistem yang baik terhadap masukan step setelah penerapan kontrol PID. Grafik respons menunjukkan kecepatan motor meningkat dengan cepat dari kondisi awal menuju nilai referensi, menunjukkan bahwa sistem kendali mampu memberikan respons awal yang cepat, yang menunjukkan peran aksi proporsional dalam mempercepat pencapaian setpoint bekerja secara efektif. Ada overshoot kecil pada tahap awal respons, ketika kecepatan motor sedikit melampaui nilai referensi sebelum kembali ke kondisi steady-state. Overshoot yang kecil ini tidak diikuti oleh osilasi berulang, yang menunjukkan bahwa sistem masih dalam kondisi stabil. Dalam kontrol PID, aksi derivatif membantu mengurangi lonjakan respons dan mencegah osilasi yang berlebihan.

Selain itu, sistem cukup cepat mencapai kondisi steady-state. Setelah fase transien berakhir, kecepatan motor berkisar di sekitar nilai referensi dengan sedikit perubahan. Karakteristik respons ini sesuai dengan tujuan penalaan kontrol PID, yaitu menghasilkan sistem yang cepat, stabil, dan akurat. Ini menunjukkan bahwa kesalahan steady-state dapat diminimalkan dengan baik. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa model sistem motor DC PG45 dan parameter kontrol PID yang digunakan dapat menghasilkan respons sistem yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kapal pendeteksi sedimen. Selain itu, bentuk gelombang respon yang dibuat cocok dengan hasil simulasi pada jurnal rujukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi MATLAB Simulink yang dilakukan telah menunjukkan karakteristik sistem motor DC PG45 secara konsisten dan dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lanjutan.

Hasil Penalaan Kontrol PID

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa model sistem motor DC PG45 dan parameter kontrol PID yang digunakan dapat menghasilkan respons sistem yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan kapal pendeteksi sedimen. Selain itu, bentuk gelombang respon yang dibuat cocok dengan hasil simulasi pada jurnal rujukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi MATLAB Simulink yang dilakukan telah menunjukkan karakteristik sistem motor DC PG45 secara konsisten dan dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lanjutan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penyesuaian nilai K_p sangat memengaruhi kecepatan respon sistem. Meningkatkan nilai K_p memungkinkan sistem mencapai nilai referensi lebih cepat, tetapi nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan overshoot. Oleh karena itu, nilai K_p dipilih pada kondisi yang dapat mempercepat respon tetapi tidak menimbulkan overshoot.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penyesuaian nilai K_p sangat memengaruhi kecepatan respon sistem. Meningkatkan nilai K_p memungkinkan sistem mencapai nilai

referensi lebih cepat, tetapi nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan overshoot. Oleh karena itu, nilai K_p dipilih pada kondisi yang dapat mempercepat respon tetapi tidak menimbulkan overshoot. Selain itu, parameter K_d meningkatkan kestabilan sistem dan mengurangi osilasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan nilai K_d yang tepat, sistem dapat lebih cepat mencapai kondisi steady-state dan mengurangi overshoot. Dengan menggabungkan nilai K_p , K_i , dan K_d hasil penalaan, respon sistem menjadi cepat, stabil, dan tidak ada osilasi. Secara keseluruhan, hasil penalaan kontrol PID menunjukkan peningkatan kinerja sistem motor DC PG45 dibandingkan kondisi sebelum penalaan. Respon sistem menjadi lebih cepat mencapai setpoint, memiliki overshoot yang kecil, serta kesalahan steady-state yang sangat minimal. Hasil ini sejalan dengan hasil simulasi pada jurnal rujukan, yang menunjukkan bahwa penalaan kontrol PID melalui MATLAB Simulink efektif dalam meningkatkan performa sistem kendali motor DC.

Analisis Kecocokan Hasil Simulasi dengan Jurnal Rujukan

Untuk melakukan analisis kecocokan, hasil simulasi sistem kontrol PID motor DC PG45 yang dihasilkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan hasil simulasi yang ditampilkan dalam jurnal rujukan. Fokus perbandingan adalah bentuk gelombang respon sistem terhadap langkah masukan. Khususnya, perhatikan karakteristik respon waktu seperti kestabilan sistem pada kondisi steady-state, overshoot, dan kecepatan mencapai titik set. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa pola gelombang respon simulasi menunjukkan pola yang mirip dengan gelombang respon jurnal rujukan. Respon awal sistem keduanya menunjukkan peningkatan kecepatan motor menuju nilai referensi, menunjukkan bahwa model sistem dan konfigurasi kontrol PID yang digunakan telah secara konsisten menunjukkan karakteristik dinamis motor DC PG45. Selain itu, karakteristik respons pada jurnal rujukan menunjukkan bahwa tingkat overshoot pada hasil simulasi relatif kecil dan tidak diikuti oleh osilasi berulang. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh parameter kontrol PID hasil penalaan terhadap kestabilan sistem sebanding. Hasil simulasi jurnal rujukan menunjukkan bahwa kesalahan steady-state berhasil diminimalkan pada kondisi steady-state, di mana respon sistem berada di sekitar nilai referensi dengan fluktuasi yang sangat kecil.

Ada kemungkinan bahwa perbedaan dalam resolusi simulasi, asumsi parameter, dan pengaturan waktu simulasi pada MATLAB Simulink menyebabkan variasi kecil dalam nilai numerik respons, seperti amplitudo overshoot atau waktu tunak. Namun, perbedaan ini tidak mempengaruhi kesesuaian pola respons umum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi dari penelitian ini memiliki tingkat kecocokan yang baik dengan hasil simulasi

pada jurnal rujukan. Dengan demikian, model dan metode simulasi yang digunakan dapat dianggap valid.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan menggunakan MATLAB Simulink, hasil simulasi sistem kontrol PID pada motor DC PG45 menunjukkan bahwa respon sistem stabil dan sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Kecepatan motor dapat mencapai setpoint dengan cepat dengan overshoot yang sedikit dan osilasi yang minimal, seperti yang ditunjukkan oleh respons langkah. Setelah fase transien, sistem berada pada kondisi steady-state dengan fluktuasi yang sangat kecil, menunjukkan bahwa kesalahan steady-state dapat ditekan dengan baik. Proses penalaan kontrol PID dengan menyesuaikan parameter K_p , K_i , dan K_d terbukti meningkatkan kinerja sistem; K_p mempercepat respon awal, K_i menghilangkan kesalahan steady-state, dan K_d membantu meredam overshoot dan meningkatkan kestabilan sistem. Dengan menggunakan MATLAB Simulink, hasil simulasi sistem kontrol PID pada motor DC PG45 menunjukkan bahwa respon sistem stabil dan sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Kecepatan motor dapat mencapai setpoint dengan cepat dengan overshoot yang sedikit dan osilasi yang minimal, seperti yang ditunjukkan oleh respons langkah. Setelah fase transien, sistem berada pada kondisi steady-state dengan fluktuasi yang sangat kecil, menunjukkan bahwa kesalahan steady-state dapat ditekan dengan baik. Proses penalaan kontrol PID dengan menyesuaikan parameter K_p , K_i , dan K_d terbukti meningkatkan kinerja sistem; K_p mempercepat respon awal, K_i menghilangkan kesalahan steady-state, dan K_d membantu meredam overshoot dan meningkatkan kestabilan sistem. Bentuk gelombang respon dan karakteristik kinerja sistem dari hasil simulasi menunjukkan kecocokan yang baik dengan hasil simulasi pada jurnal rujukan. Pola respons yang serupa menunjukkan bahwa model sistem dan metode simulasi yang digunakan secara konsisten menunjukkan karakteristik motor DC PG45. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa, sebelum diterapkan pada sistem nyata, simulasi dan penalaan kontrol PID menggunakan MATLAB Simulink adalah metode yang dapat diandalkan untuk menganalisis dan memvalidasi kinerja sistem kontrol motor DC PG45 pada aplikasi kapal pendeteksi sedimen.

DAFTAR REFERENSI

- Ainudin, F. H., Ashlah, M. B., & Nugraha, A. T. (2022). Pengontrol kecepatan respon motor dengan PID dan LQR. In *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 7, No. 1).
- Anggrila, B., & Astrid, E. (2024). Rancang bangun DC chopper empat kuadran untuk motor DC dengan monitoring Simulink MATLAB. *MSI Transaction on Education*, 5(4), 185-196. <https://doi.org/10.46574/mted.v5i4.153>
- Hartanto, S. (2022). Tegangan motor DC terhadap berat barang pada ban berjalan. *Jurnal Elektro*, 10(2), 174-181.
- Hidayat, A. R., Risdhayanti, A. D., Fitri, Permatasari, D. A., & Wahono, W. T. (2024). Pemodelan identifikasi sistem untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PID. *Jurnal Elkolind*, 11(1), 253-262. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5409>
- Hudati, I., Aji, A. P., & Nurrahma, S. (2021). Kendali posisi motor DC dengan menggunakan kendali PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan*, 2(2), 25-30. <https://doi.org/10.22146/juliet.v2i2.71148>
- Kurniawan, F., Maulana, Y. Z., & Christianti, R. F. (2022). Sistem kendali level ketinggian air berbasis fuzzy control menggunakan Simulink. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(1), 17-30. <https://doi.org/10.31358/techne.v21i1.287>
- Masfufiah, I., Firmansyah, R. A., Hamid, A., & Oetomo, S. (2021). Implementasi kontrol suhu menggunakan metode PID pada aplikasi inkubator infant warmers. *Cyclotron*, 4(1).
- Nuroctavia, A. F., Murtono, A., & Priyadi, B. (2021). Sistem kendali suhu dan kelembapan pada proses fermentasi tempe dengan metode PID. *J. Elektron. dan Otomasi Ind*, 8(3), 261. <https://doi.org/10.33795/elk.v8i3.304>
- Purba, K. (2024). Sistem kendali dalam mesin otomatis: Teknologi dan aplikasinya. *Circle Archive*, 1(6).
- Putri, M. D. I., Ma'arif, A., & Puriyanto, R. D. (2022). Pengendali kecepatan sudut motor DC menggunakan kontrol PID dan tuning Ziegler Nichols. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 23(1), 9-18. <https://doi.org/10.30595/techno.v23i1.10773>
- Santosa, S. P., & Nugroho, M. W. (2021). Rancang bangun alat pintu geser otomatis menggunakan motor DC 24 V. *Jurnal Elektro*, 9(1), 38-45.
- Sudrajat, R., & Rofifah, F. (2023). Rancang bangun sistem kendali kipas angin dengan sensor suhu dan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno. *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 7(1), 555-564. <https://doi.org/10.33395/remik.v7i1.12082>
- Sukowati, A. D. S., Budi, E. S., & Radianto, D. (2023). Sistem kendali PID aplikasi mini plant water flow berbasis Arduino. *J. Elektron. dan Otomasi Ind*, 10(3). <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.3677>
- Ushofa, B. D., Anifah, L., Buditjahjanto, I. G. P. A., & Endryansyah. (2022). Sistem kendali kecepatan putaran motor DC pada conveyor dengan metode kontrol PID. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 332-342.
- Zulkifli, R. S. (2021). Pengaruh kendali kecepatan motor DC pada chopper drive. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 8(2), 39-43. <https://doi.org/10.21107/triac.v8i2.11277>