
SIMULASI SISTEM KENDALI DENGAN SENSOR PHOTOVOLTAIK BERBASIS KONTROL PID MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

Norma Suci Pratiwi¹, Desmira², Sahmawati³, Dede Saprudin⁴, Jessen Parulian Sianturi⁵, Rollis Kurnia Turangga⁶, Muhammad Raihan Galih⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Email: normasucipratiwi@gmail.com¹, desmira.dma@bsi.ac.id², sahma8531@gmail.com³, saprudindede992@gmail.com⁴, jessenparuliansianturi@gmail.com⁵, rolliskurniaturangga01@gmail.com⁶, mhmdraihann16@gmail.com⁷

Abstrak: Studi ini bertujuan untuk memeriksa struktur jurnal yang dirujuk dan mereplikasi simulasi sistem kontrol pelacakan matahari menggunakan sensor fotovoltaiik dan pengontrol PID melalui platform MATLAB/Simulink. Penelitian ini dimotivasi oleh kebutuhan untuk memverifikasi keselarasan antara model teoritis yang disajikan dalam literatur ilmiah dan implementasi numeriknya dalam simulasi. Metodologi terdiri dari empat tahap utama: tinjauan literatur, pemodelan sistem, desain pengontrol, dan simulasi diikuti oleh analisis kinerja. Model yang dikembangkan mewakili struktur mekanik panel surya, karakteristik aktuator, respons sensor fotovoltaiik, dan dinamika motor servo yang bertanggung jawab untuk menggerakkan kolektor agar mengikuti posisi matahari. Pengontrol PID dikonfigurasi menggunakan parameter $P=1$, $I=0,4$, dan $D=0,5$, sebagaimana diidentifikasi sebagai optimal dalam jurnal yang dirujuk, dan Dievaluasi di bawah berbagai input referensi dan gangguan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem secara efektif melacak referensi yang diinginkan, menghasilkan waktu naik 0,0141 detik, waktu penyelesaian 6,6983 detik, overshoot 23%, dan kesalahan keadaan tunak yang sangat kecil sebesar 0,0074. Temuan ini menegaskan bahwa pengontrol PID memberikan respons sistem yang cepat, stabil, dan akurat dalam mempertahankan orientasi panel. Selain itu, simulasi memverifikasi bahwa model matematika yang diimplementasikan di Simulink konsisten dengan deskripsi teoritis dalam jurnal, menjadikannya alat yang tepat untuk memvalidasi model kontrol dan mendukung pembelajaran dalam sistem kontrol berbasis PID.

Kata Kunci: Simulasi Sistem Kontrol; MATLAB/Simulink; Sensor Fotovoltaiik; Pengontrol PID; Sistem Pelacak Matahari.

Abstract: This study aims to examine the structure of the referenced journal and to replicate the simulation of a solar-tracking control system utilizing a Photovoltaic sensor and a PID controller through the MATLAB/Simulink platform. The research is motivated by the need to verify the alignment between theoretical models presented in scientific literature and their numerical implementation in simulation. The methodology consists of four main stages: literature review, system modeling, controller design, and simulation followed by performance analysis. The developed model represents the mechanical structure of the solar panel, actuator characteristics, Photovoltaic sensor response, and servo motor dynamics responsible for driving the collector to follow the sun's position. The PID controller is configured using parameters $P=1$, $I=0.4$, and $D=0.5$, as identified as optimal in the referenced journal, and is evaluated under varying reference inputs and disturbances. The simulation results demonstrate that the system effectively tracks the desired reference, yielding a rise time of 0.0141 seconds, a settling time of 6.6983 seconds, an overshoot of 23%, and a very small steady-state error of 0.0074. These findings confirm that the PID controller provides fast, stable, and accurate system responses in maintaining panel orientation. Moreover, the simulation verifies that the mathematical model implemented in Simulink is consistent with the theoretical description in the

journal, making it a suitable tool for validating control models and supporting learning in PID-based control systems.

Keywords: *Control System Simulation; MATLAB/Simulink; Photovoltaic Sensors; PID Controller; Solar Tracking System.*

PENDAHULUAN

Sistem kendali memiliki peran strategis dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengendalian mesin industri, robotika, hingga pengaturan parameter dalam sistem energi. Untuk memahami dan mengembangkan sistem kendali yang optimal, diperlukan pendekatan teoritis yang kuat sekaligus kemampuan implementasi yang praktis. Salah satu alat yang sering digunakan dalam memodelkan dan mensimulasikan sistem kendali adalah perangkat lunak MATLAB, karena kemampuannya dalam menyelesaikan perhitungan numerik, memvisualisasikan data, dan menganalisis sistem secara mendalam.

Dalam penelitian dan pengembangan sistem kendali, jurnal ilmiah sering kali menjadi rujukan utama. Jurnal-jurnal ini menyajikan berbagai pendekatan, algoritma, dan metode kendali yang telah teruji secara teoritis. Namun, untuk menguji apakah teori yang disajikan selaras dengan praktik, diperlukan simulasi menggunakan perangkat lunak seperti MATLAB. Simulasi ini tidak hanya bertujuan untuk memvalidasi hasil teori yang disampaikan dalam jurnal, tetapi juga untuk mengidentifikasi kesesuaian antara model teoritis dan implementasi numeriknya serta alir dari diagram yang di simulasikan.

Proses mensimulasikan sebuah jurnal dengan MATLAB menghadirkan tantangan sendiri, terutama dalam menerjemahkan model matematis ke dalam kode simulasi dan membandingkan hasil simulasi dengan teori atau data yang diusulkan dalam jurnal. Tugas ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan penting, apakah hasil dari simulasi MATLAB yang di simulasikan ulang yang telah diperoleh dari jurnal, selaras atau tidak

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan adalah motor arus searah (DC). Ini juga banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan di piranti pendukung sistem instrumen elektronika. Di sini, motor listrik adalah alat elektomagnetis yang memiliki kemampuan untuk

menghasilkan energi mekanik atau gerak dari energi listrik. Motor DC juga digunakan pada peralatan yang dapat dibawa seperti mesin cetak, tempat sampah otomatis, dan sebagainya. Motor DC menerima tegangan dan arus listrik sebagai sumber daya, dan torsi dan kecepatan rotor adalah outputnya (Hudati et al., 2021).

Motor DC umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan kontrol kecepatan, seperti robotika, mesin industri, dan kendaraan listrik. Untuk memastikan kinerja yang optimal dalam berbagai situasi operasional, kecepatan motor DC harus diatur dengan benar. Salah satu metode kontrol yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol otomatis adalah kontrol PID. (Rahman Hidayat et al., 2024).

Sistem kontrol industri sering menggunakan kontrol proporsional integral derivatif (PID). Nilai kesalahan dihitung oleh kontroler PID secara terus menerus sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses yang diukur. Kontroler berusaha untuk mengurangi nilai kesalahan dari waktu ke waktu dengan mengatur variabel kontrol, seperti posisi katup kontrol, peredam, atau daya pada elemen pemanas, ke nilai baru yang ditetapkan dengan jumlah. Ini dapat menggabungkan pengontrol turunan, proporsional, dan integral. (Hudati et al., 2021).

Banyak aplikasi memiliki rentang kecepatan yang luas dan stabilitas rotasi dengan nilai referensi yang diinginkan (set point), sehingga diperlukan data untuk membandingkan nilai respons sistem kecepatan motor dengan kontrol PID atau loop terbuka tanpanya (Dhiya' Ushofa et al., 2022).

Pengendali PID dibuat dengan menggabungkan tiga komponen—proportional, integral, dan derivative. Komponen-komponen ini dapat digunakan secara bersamaan atau terpisah tergantung pada tanggapan yang diinginkan pada suatu sistem atau fasilitas (Ma'arif et al., 2021).

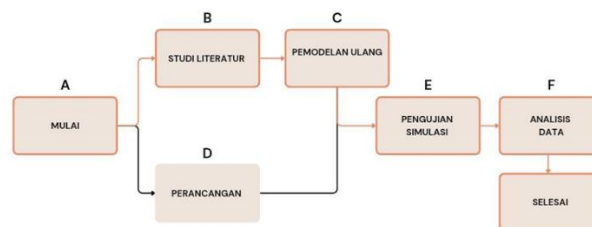
Matlab adalah operasi matriks yang dapat menunjukkan hasil perhitungan dalam bentuk grafik dan dapat dirancang sesuai keinginan kita. Matlab menggunakan GUI yang kita buat sendiri, yang telah menjadi cara penting untuk berinteraksi dengan perangkat lunak modern (Nurullaeli, 2022).

Matlab, yang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc., adalah program untuk analisis dan komputasi numerik yang merupakan bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibangun dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Matlab telah menjadi aplikasi yang sangat berguna untuk menyelesaikan tugas yang berkaitan dengan

pengolahan aljabar linier serta kalkulasi matematis lainnya. Matlab juga memiliki banyak fungsi built-in yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas yang biasanya sulit dalam pengolahan angka, khususnya yang berkaitan dengan perhitungan numerik yang berbasis matriks (Fatwa et al., 2022).

Fotovoltaik adalah elemen semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui loncatan elektron yang dihasilkan oleh radiasi matahari pada permukaan semikonduktor. Sel fotovoltaik menghasilkan arus searah (DC) sebagai energi. Intensitas sinar matahari yang diterima oleh sel fotovoltaik menentukan jumlah energi yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaik dihubungkan ke SCC. SCC melindungi dan mengotomatisasi pengisian baterai untuk mengoptimalkan sistem dan meningkatkan masa pakai baterai (Dayu Arachman & Antoni, 2023).

METODE PENELITIAN



Penelitian ini menerapkan *metode eksperimen melalui simulasi numerik* untuk mengevaluasi performa pengendali PID dalam menjaga kestabilan orientasi panel surya. Prosedur penelitian tersusun dalam empat fase utama, meliputi penelaahan pustaka, pembangunan model sistem, perancangan algoritma kendali, serta pelaksanaan simulasi dan analisis hasil.

Tahap pertama mencakup *kajian literatur* yang difokuskan pada teori solar tracking, kinerja aktuator dan sensor posisi, serta penerapan kendali PID dalam sistem dinamis. Informasi dari literatur digunakan sebagai dasar untuk menentukan parameter model, struktur sistem, dan variabel evaluasi yang akan digunakan dalam proses simulasi.

Tahap kedua adalah *pemodelan ulang sistem penjejak matahari* menggunakan perangkat simulasi seperti MATLAB/Simulink atau platform yang memiliki fungsi sepadan. Model sistem mencakup representasi mekanisme panel, karakteristik aktuator, sensor pendeteksi posisi Photovoltaik, serta model lintasan matahari sebagai sinyal acuan. Selain itu, gangguan eksternal

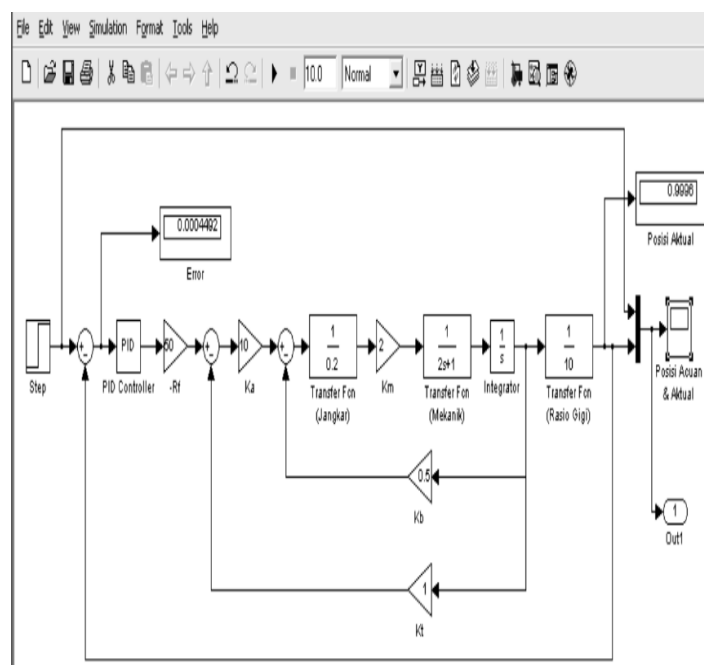
seperti hembusan angin dan noise sensor dimasukkan untuk menciptakan kondisi operasi yang lebih mendekati kenyataan.

Tahap ketiga berkaitan dengan *perancangan pengendali*. Nilai parameter K_p , K_i , dan K_d pada pengendali PID disetel berdasarkan acuan metode tuning dalam penelitian terdahulu. Pengendali logika dibangun dengan dua variabel input error dan perubahan error dan dilengkapi dengan fungsi keanggotaan serta basis aturan yang disusun sesuai prinsip kendali. Pada pengendali hybrid, berfungsi mengatur parameter PID secara adaptif guna meningkatkan respons dan stabilitas sistem.

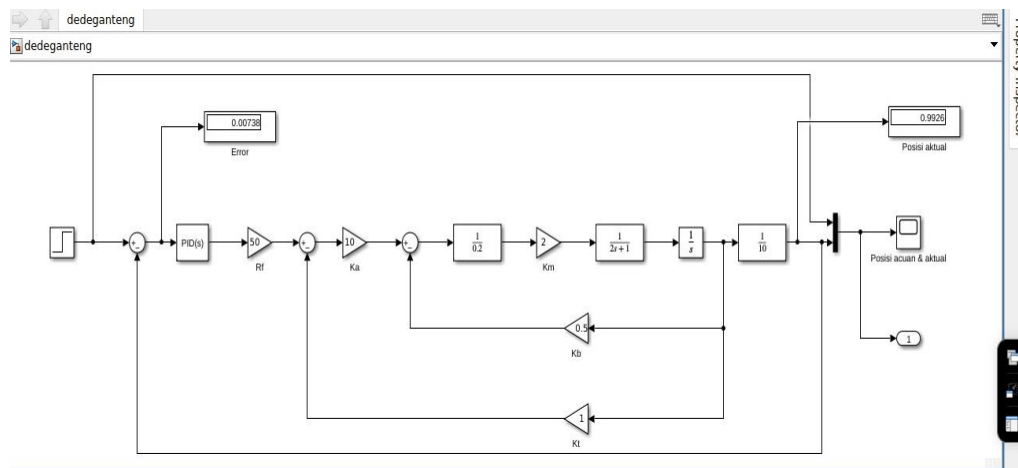
Tahap keempat terdiri atas *pengujian simulasi* dengan berbagai skenario, seperti perubahan sudut referensi, pengaruh gangguan, serta kondisi sensor yang terkontaminasi noise. Setiap pengendali diuji berulang dengan parameter konsisten untuk menghasilkan data yang reliabel. Indikator performa yang diukur mencakup error sudut, waktu menuju kestabilan, overshoot, dan kemampuan sistem meredam gangguan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram MATLAB/Simulink



Gambar 4. 1 Diagram Simulink Dalam Jurnal



Gambar 4. 2 Diagram Simulink Simulasi Ulang

Pada gambar 4.1 merupakan blok diagram simulink yang berada dalam jurnal, dan kemudian di simulasikan ulang pada gambar 4.2 dengan model dan menggunakan parameter-parameter yang sama. Model dari diagram tersebut merupakan sebuah representasi sebuah sistem kendali yang mengendalikan motor servo oleh pengendali PID untuk mengatur kolektor surya agar selalu menghadap kepada sinar matahari. Respon sistem yang dihasilkan bergantung kepada nilai konstanta yang diaplikasikan ke dalam blok PID, yang dimana nilai konstanta terbaik yang digunakan di dalam jurnal tersebut ialah $P=1$, $I=0.4$, dan $D=0.5$, nilai konstanta tersebut digunakan kembali kepada blok PID yang disimulasikan ulang untuk melihat respon sistemnya. Model tersebut disusun berbasis blok diagram, sebagai bentuk matematis dari model sistem kendali penggerak motor servo DC untuk kolektor surya agar selalu menghadap sinar matahari. Adapun representasi dan peran-peran blok tersebut pada model sistem pelacak sinar matahari adalah sebagai berikut.

1. Blok step: merupakan sebuah representasi dari set point dari posisi matahari yang menjadi sebuah input pada sistem, yang berfungsi sebagai input step sebagai sebuah simulasi pergerakan posisi matahari yang harus diikuti oleh kolektor surya.
2. Blok penjumlahan/Sum: menjumlahkan dan melakukan penghitungan terhadap selisih di antara posisi sinar matahari dan kolektor surya, dan kemudian menghasilkan sinyal error yang akan diproses oleh pengendali PID.

3. Blok PID: merupakan sebuah representasi dari pengendali PID yang di dalamnya memiliki nilai konstanta yang dapat diatur sehingga memperoleh keluaran yang diharapkan/diinginkan, yang berfungsi memproses sinyal error agar motor servo mampu bergerak sesuai dengan posisi referensi.
4. Blok gain: beberapa blok gain yang digunakan dalam diagram merupakan sebuah representasi dari penguat sinyal, konstanta, dan sensor dalam model sistem pengendali pelacak matahari.
5. Blok transfer fcn: sebuah representasi dari bentuk matematis dari pergerakan motor servo DC dan bentuk mekanis dari motor servo DC.
6. Blok scope: merupakan sebuah blok osiloskop digital yang menjadi sebuah keluaran berbentuk grafik yang perlu diamati, grafik yang keluar merupakan sebuah representasi dari posisi aktual terhadap waktu.

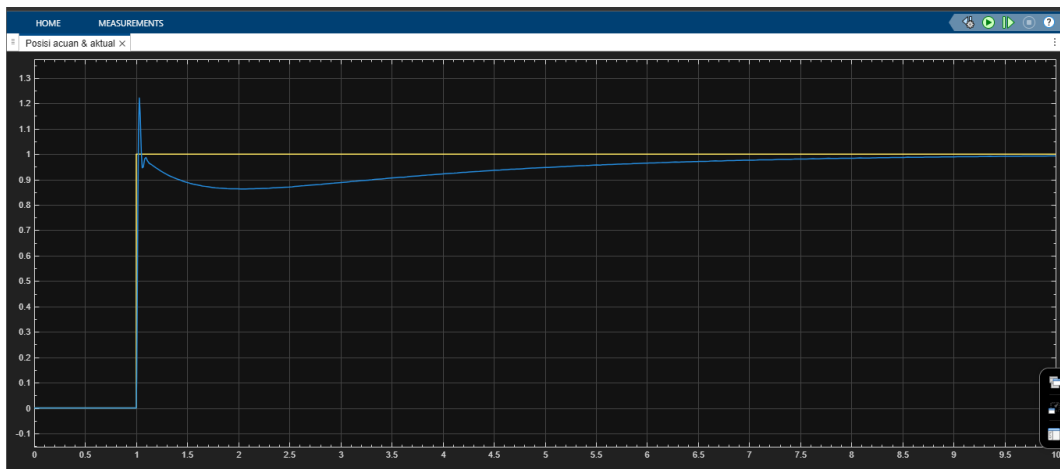
Hasil Simulasi Sistem Kendali

Setelah melakukan simulasi implementasi dari sistem kendali kolektor surya pelacak matahari maka langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi, hal ini bertujuan untuk melihat keluaran dari sistem yang berbentuk grafik yang bisa dilihat di osiloskop digital, grafik tersebut merupakan menjadi sebuah indikasi dari respon sistem terhadap sistem kendali. Adapun bentuk dari keluaran grafiknya ialah sebagai berikut:

Grafik tersebut menampilkan *time respons* terhadap sistem kendali posisi dari motor servo DC terhadap sinyal input dari step, berdasarkan warna garisnya didapatkan keterangan sebagai berikut:

- Garis biru: sinyal posisi aktual atau *output* dari motor servo yang akan mengikuti dari posisi acuan atau *set point* (garis kuning)
- Garis kuning: sinyal posisi dari *set point* yaitu nilai input step, merupakan nilai target yang diharapkan dari posisi kolektor surya.

Respon Sistem Terhadap Waktu



Gambar 4. 3 Grafik Respon Sistem

Berdasarkan grafik tersebut maka alur respon sistem terhadap waktu dapat diuraikan sebagai berikut:

- Pada waktu 0.5 detik motor servo DC belum memberikan respon apapun dan langsung merespon input step dengan cepat yaitu pada waktu 1 detik.
- Dalam waktu 1 detik tersebut motor DC mengalami lonjakan kecil atau *overshoot* yang dimana sinyal dari motor servo DC melebihi dari nilai *set point* yang dimana *set point* diatur dengan nilai 1 detik.
- Pada periode waktu antara 1 ke 2 detik respon motor servo DC mengalami *undershoot* kecil yang dimana respon turun dari nilai set point merupakan efek dari konstantan I yang sedang mengoreksi nilai *error*
- Setelah memasuki waktu 6 detik respon sistem menjadi stabil mengikuti nilai target yang diinginkan/nilai acuan yang dimana pada kondisi ini sistem dalam kondisi *steady-state*.

Analisis Respon Sistem

Setelah menganalisis respon sistem terhadap waktu maka selanjutnya menganalisis nilai-nilai respon terhadap sistem, yang dimana nilai-nilai respon sistem yang perlu diketahui ialah *Rise Time*, *Settling Time*, *Overshoot*, dan *Steady-State Error*, yang dikemas dalam tabel berikut ini.

Tabel 4. 1 Tabel Respon Sistem

Respon Sistem	
<i>Rise Time</i>	0.0141 detik
<i>Settling Time</i>	6.6983 detik
<i>Overshoot</i>	23.00%
<i>Steady-State Error</i>	0.0074

Dari simulasi sistem kendali motor servo DC kolektor surya pelacak sinar matahari tersebut diperoleh nilai-nilai respon terhadap sistem, yaitu *Rise Time*=0.0141 detik, *Setting Time*=6.6983 detik, *Overshoot*=23.00%, dan *Steady-State Error*=0.0074, nilai *error* yang sangat kecil itulah menunjukkan bahwa sistem kendali menunjukkan perilaku yang stabil yang dimana penggerak yang digunakan ialah motor servo DC, yang dimana nilai konstanta yang terbaik yang digunakan ialah $K_p=1$, $K_i=0.4$, dan $K_d=0.5$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pembelajaran sistem kendali menggunakan MATLAB/Simulink mampu memberikan pemahaman yang cukup dengan melakukan simulasi melalui perangkat lunak meskipun tidak mensimulasikannya kepada sistem kendali langsung tidak menutup kemungkinan memberikan pengertian yang cukup, simulasi tersebut memberikan pengertian dan beberapa ilmu baru mengenai bagaimana suatu sistem kendali bekerja dalam model matematis, mengidentifikasi secara langsung respon sistem terhadap sistem kendali, dan menganalisis grafik keluaran terhadap waktu dari suatu sistem kendali. Berdasarkan hasil dari simulasi yang disimulasikan yang dimana mengatur posisi motor servo DC dalam menggerakkan kolektor surya agar selalu menghadap sinar matahari dengan pengendali PID menunjukkan respon sistem yang stabil dan cepat tanpa ada lonjakan yang berlebih. Dengan begitu disimpulkan bahwa simulasi MATLAB/Simulink telah berhasil memodelkan perilaku sistem kendali pelacak matahari dengan efektif

DAFTAR PUSTAKA

Dayu Arachman, F., & Antoni, F. (2023). *SISTEM KENDALI PENGGERAK SEL FOTOVOLTAIK MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DENGAN SENSOR LUX BERBASIS INTERNET OF THINGS*.

- Fatwa, M., Ristu, R., Pandiangan, S., Supriyadi, E., Studi, P., Industri, T., Tinggi, S., & Bandung, T. (2022). PENGAPLIKASIAN MATLAB PADA PERHITUNGAN MATRIKS. *Papanda Journal of Mathematics and Sciences Research*, 1(2), 2022.
- Hudati, I., Aji, P. A., & Nurrahma, S. (2021). MOTOR DC. *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan*, 2(2).
- Ma'arif, I. M., Adhim, I. auzi, & Istiqomah, F. (2021). Implementasi_Metode_PID_untuk_Mengontrol. *JURNAL TEKNIK ITS*, 10.
- Dhiya' Ushofa, B., Anifah, L., Putu, G., & Buditjahjanto, A. (2022). *Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID 332 Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor*.
- Nurullaeli. (2022). *MEDIA ANALISIS DAN SIMULASI GERAK MENGGELINDING DI BIDANG DATAR BERBASIS MATLAB*.
- Rahman Hidayat, A., Dwi Risdhayanti, A., Fitri, Ayu Permatasari, D., & Tri Wahono, W. (2024). Pemodelan Identifikasi Sistem untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PID. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(1), 253–262.
<https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5409>