

Sistem Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 1 Fasa menggunakan Kontrol PID berbasis Algoritma PSO

Redianto Archi Pangalinan^{1)*}, Yusri Ambabunga²⁾, Lantana Dioren Rumpa³⁾

^{1,2,3}Program Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Kabupaten Toraja Utara, 91831, Indonesia

*E-mail: pangalinanredianto@gmail.com

Diterima 17 Oktober 2024; Disetujui 30 Oktober 2024

ABSTRAK

Motor induksi 1 fasa memainkan peran penting dalam aplikasi industri dan rumah tangga karena kemampuannya untuk menggerakkan peralatan dengan efisien. Kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) sering digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi ini, namun penentuan parameter PID yang optimal bisa menjadi tantangan. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) telah terbukti efektif dalam mengoptimalkan parameter PID, sehingga meningkatkan adaptabilitas dan kinerja sistem. Penelitian ini menggabungkan kontrol PID dengan algoritma PSO untuk menciptakan sistem pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa yang lebih cerdas dan responsif. Scilab digunakan sebagai platform simulasi untuk mengimplementasikan dan menguji model kontrol ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggabungan PSO dengan kontrol PID mampu mengurangi osilasi, memperbaiki respons sistem, dan meningkatkan efisiensi energi dimana nilai awal parameter adalah ($K_p = 1$, $K_i = 2$, $K_d = 3$) menghasilkan nilai parameter baru setelah melalui proses optimasi menggunakan algoritma PSO ($K_p = 0.20$ $K_i = 1.40$ dan $K_d = 2.00$). Dengan optimasi ini, motor induksi 1 fasa dapat beroperasi lebih efisien dan andal dalam menghadapi berbagai kondisi operasional.

Kata kunci : Motor, PID, PSO, Kecepatan, Scilab

ABSTRACT

Single-phase induction motors play an important role in industrial and household applications due to their ability to drive equipment efficiently. PID (Proportional-Integral-Derivative) control is often used to regulate the speed of these induction motors, but determining optimal PID parameters can be a challenge. The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is proven to be effective in optimizing PID parameters thereby increasing system adaptability and performance. This research combines PID control with the PSO algorithm to create a more intelligent and responsive single-phase induction motor speed control system. Scilab is used as a simulation platform to implement and test this control model. The research results show that combining PSO with PID control is able to reduce oscillations, improve system response, and increase energy efficiency where the initial parameter values are ($K_p = 1$, $K_i = 2$, $K_d = 3$) resulting in new parameter values. after going through an optimization process using the PSO algorithm ($K_p = 0.20$ $K_i = 1.40$ and $K_d = 2.00$). With this optimization, single-phase induction motors can operate more efficiently and reliably in dealing with various operational conditions.

Keywords : Motor, PID, PSO, Speed, Scilab

1. PENDAHULUAN

Motor induksi 1 fasa memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri dan rumah tangga (Gesang Amar & Noer Soedjarwanto, 2024), seperti pada sistem konveyor, pompa air, kipas, serta berbagai mesin kecil lainnya. Kemampuannya untuk menggerakkan berbagai peralatan dan sistem menjadikan pengaturan kecepatan motor sebagai faktor penting dalam memastikan operasi yang efisien dan andal. Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengaturan kecepatan motor ini adalah kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID), yang berfungsi untuk menjaga kecepatan motor

sesuai dengan target yang diinginkan (Kurniyanto et al., 2022; Prasetyo et al., 2024).

Salah satu tantangan utama dalam pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa, adalah menentukan parameter PID yang optimal. Motor ini sering digunakan dalam kondisi yang berubah-ubah, di mana perubahan beban dapat terjadi secara tiba-tiba, sehingga memerlukan kontrol yang adaptif agar kecepatan motor tetap stabil. Seiring berkembangnya teknologi, metode optimasi cerdas seperti algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) telah menjadi fokus

penelitian dalam pengaturan kecepatan motor (Ridwan, 2018).

Algoritma PSO, terinspirasi dari perilaku kelompok partikel, seperti kawanan burung atau ikan, yang bekerja sama mencari solusi optimal (Rizki & Nurlaili, 2021), menjadi solusi yang menarik untuk optimasi parameter PID. Dengan menggunakan PSO, sistem dapat beradaptasi lebih baik terhadap perubahan beban dan memberikan kinerja yang lebih stabil dan responsif. PSO memungkinkan pencarian solusi terbaik dalam ruang parameter PID melalui kolaborasi antara partikel yang saling bertukar informasi (Saini et al., 2024).

Motor induksi 1 fasa memiliki karakteristik non-linear yang kompleks, yang membuat pengaruh perubahan beban dan gangguan eksternal signifikan terhadap kinerjanya. Oleh karena itu, pengaturan parameter PID yang optimal menjadi sangat penting untuk menjaga kestabilan kontrol motor ini (Suseno et al., 2022). Kontrol PID terdiri dari tiga komponen utama, yaitu proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D), yang bekerja bersama (Farizi & Wahyudi, 2024) untuk mencapai kontrol yang stabil dan responsive (Noor, 2023).

Dalam sistem pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa, komponen PID bekerja dengan cara yang saling melengkapi. Proporsional (P) merespons selisih antara *setpoint* dan output, integral (I) menghilangkan kesalahan statis dari waktu ke waktu, dan derivatif (D) membantu mengurangi *overshoot* dan meningkatkan respons transien. Namun, pengaturan parameter yang tepat untuk ketiga komponen ini seringkali merupakan tantangan, terutama karena sifat non-linear motor induksi 1 fasa. Penerapan PSO dalam pengaturan PID memberikan solusi yang efisien untuk menemukan kombinasi parameter optimal. Dalam PSO, partikel-partikel bergerak dalam ruang pencarian untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter PID, berdasarkan pengalaman partikel terbaik dan hasil pencarian sebelumnya. Ini memungkinkan sistem untuk menemukan parameter yang dapat mengoptimalkan kinerja kontrol motor (Mikelsten, 2019).

Efisiensi energi juga menjadi aspek penting dalam pengendalian motor induksi 1 fasa, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan penghematan energi (Younas et al., 2021), seperti sistem pompa air dan kipas. Dengan mengoptimalkan kontrol PID

menggunakan PSO, efisiensi operasional motor dapat ditingkatkan, yang pada akhirnya mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional.

Tantangan teknis dalam penelitian ini termasuk perancangan kontrol PID yang tepat untuk motor 1 fasa, pengembangan model matematis yang akurat untuk merepresentasikan karakteristik motor, serta implementasi PSO yang efisien. Penelitian ini dirancang untuk menghadirkan solusi dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut, dengan fokus pada peningkatan efisiensi, responsivitas, dan penghematan energi (Muzawi & Kom, 2024).

Sebagai bagian dari proses penelitian ini, Scilab digunakan sebagai platform utama untuk merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis sistem pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa. Scilab, yang merupakan perangkat lunak *open-source* dengan kemampuan yang mirip MATLAB, menyediakan berbagai alat yang kuat untuk melakukan simulasi sistem kontrol. Scilab memungkinkan peneliti untuk mengembangkan model matematis motor 1 fasa, mengimplementasikan kontrol PID, dan menjalankan simulasi sistem untuk mengevaluasi kinerja. Melalui Scilab, optimasi parameter PID dengan PSO dapat dilakukan dengan lebih mudah, memberikan fleksibilitas dalam eksplorasi solusi numerik yang kompleks. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi kontrol motor induksi 1 fasa yang lebih cerdas dan responsif. Dengan menggabungkan keunggulan kontrol PID dan kemampuan adaptasi PSO, sistem pengaturan kecepatan motor dapat mencapai kinerja yang lebih baik, mengurangi *overshoot*, dan meningkatkan efisiensi energi (Putra, 2020).

Keseluruhan penelitian ini bertujuan memberikan solusi inovatif dalam pengendalian motor induksi 1 fasa. Dengan menggunakan PSO untuk mengoptimalkan parameter PID, sistem ini dapat lebih efisien, responsif, dan hemat energi, yang berpotensi meningkatkan kinerja motor dalam berbagai aplikasi industri maupun rumah tangga (Kristiyono & Azhar, 2019).

2. KAJIAN LITERATUR

Motor induksi 1 fasa adalah jenis motor listrik yang banyak digunakan dalam aplikasi rumah tangga dan industri skala kecil. Motor ini

bekerja dengan memanfaatkan aliran arus bolak-balik (AC) satu fasa untuk menghasilkan medan magnetik yang mendorong rotor, sehingga menghasilkan gerakan putar.

Keunggulan dari motor ini adalah konstruksinya yang sederhana, biaya produksi yang relatif rendah, dan keandalannya untuk kebutuhan daya mekanis rendah hingga menengah. Pada penelitian ini, digunakan motor induksi 1 fasa dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Dataset Motor AC 1 Fasa

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Resistansi stator	R_s	1	Ohm
Induktansi stator	L_s	0.01	Henry
Inersia rotor	J	0.01	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
Koefisien redaman	B	0.1	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$
Konstanta back-emf	K_e	0.01	$\text{V}\cdot\text{s}/\text{rad}$
Konstanta torsi	K_t	0.01	$\text{N}\cdot\text{m}/\text{A}$

3. METODE PENELITIAN

Dalam konteks penelitian pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa menggunakan kontrol PID berbasis algoritma PSO dengan *software* Scilab dan Visual Studio Code, terdapat beberapa variabel yang diteliti. Variabel-variabel tersebut mencakup aspek-aspek yang relevan untuk menentukan putaran motor induksi 1 fasa. Berikut adalah beberapa variabel utama yang diteliti:

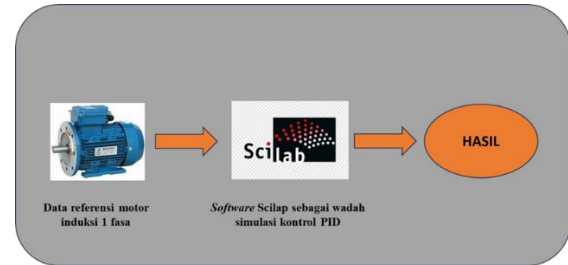
Variabel Independen

Variabel independen adalah variabel yang dapat diubah atau dimanipulasi dalam eksperimen atau simulasi. Variabel independen adalah faktor atau input yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain dalam konteks eksperimen atau model yang dibangun. Variabel independen mencakup waktu (t), kecepatan referensi (ω_{ref}), parameter PID (K_P , K_I , dan K_D). Dengan memanipulasi variabel independen, peneliti dapat mengamati bagaimana sistem merespon dan memahami pengaruh perubahan motor induksi 1 fasa.

Variabel Dependen

Variabel dependen adalah variabel yang nilainya dipengaruhi atau bergantung pada variabel independen atau faktor-faktor lain dalam eksperimen atau model. Variabel independen mencakup kecepatan motor

(ω_{motor}) serta hasil optimasi (K_P_{optimal} , K_I_{optimal} , K_D_{optimal}). Variabel dependen adalah ukuran atau output dari eksperimen atau model. Dalam konteks ini, akan memantau dan menganalisis perubahan dalam variabel dependen untuk memahami bagaimana sistem bereaksi terhadap perubahan variabel independen dan untuk mengevaluasi kinerja pengaturan kecepatan motor. Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini diterapkan desain penelitian seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Desain Penelitian

Desain penelitian menggambarkan layout prosedur penelitian yang mencakup pengumpulan data referensi motor induksi 1 fasa, kemudian simulasi kontrol PID yang didesain dalam *software* Scilab, hingga evaluasi hasil simulasi. Setiap tahapan pada desain penelitian ini mengambil peranan penting dalam menyusun dasar penelitian ini, melalui desain penelitian ini akan memberikan gambaran tentang keseluruhan dari penelitian ini. Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan yang akan dilaksanakan secara sistematis. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

Studi Literatur, Tahap pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur mengenai pengaturan kecepatan motor induksi dengan kontrol PID, serta penerapan algoritma PSO untuk optimasi parameter PID. Studi literatur menunjukkan bahwa kombinasi antara kontrol PID dan PSO dapat meningkatkan performa sistem, khususnya dalam hal respons kecepatan, mengurangi overshoot, dan meningkatkan stabilitas. Penelitian ini juga membahas tantangan yang dihadapi, seperti kompleksitas algoritma dan sensitivitas parameter, terutama dalam konteks motor induksi 1 fasa.

Analisis Data, tahap ini melibatkan pemrosesan data hasil simulasi, termasuk pengambilan data kecepatan motor, parameter PID, dan hasil optimasi PSO. Data tersebut divisualisasikan untuk mendapatkan

pemahaman awal mengenai kinerja sistem. Analisis statistik deskriptif digunakan untuk merangkum karakteristik utama dari hasil simulasi, sementara evaluasi kinerja difokuskan pada respons sistem terhadap variasi parameter. Hasil optimasi PSO kemudian dianalisis untuk menentukan parameter kontrol yang optimal.

Simulasi Scilab, pada tahap ini, simulasi dilakukan menggunakan platform Scilab. Dimulai dengan membuat model matematis motor induksi 1 fasa, kemudian implementasi kontrol PID berbasis PSO dilakukan. Simulasi ini bertujuan untuk mengamati bagaimana perubahan parameter PID mempengaruhi respons sistem terhadap perubahan setpoint dan beban. Penggunaan Scilab memungkinkan dilakukannya analisis numerik (Supriyadi & Wijayati, 2020) terhadap performa sistem, termasuk waktu respons, overshoot, dan stabilitas kontrol.

Testing, Tahap testing dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengendalian motor induksi 1 fasa. Pengujian validitas model simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang digunakan mencerminkan perilaku sistem sebenarnya. Python digunakan untuk mendukung simulasi dan analisis data, termasuk implementasi kontrol PID dan evaluasi performa sistem berdasarkan berbagai setpoint dan beban. Hasil simulasi dibandingkan dengan kriteria performa yang telah ditentukan sebelumnya.

Hasil, tahap terakhir adalah menganalisis dan menyajikan hasil simulasi. Hasil meliputi data numerik seperti respons kecepatan motor, nilai parameter PID yang dioptimalkan, serta hasil dari algoritma PSO. Data tersebut kemudian divisualisasikan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai kinerja sistem. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan kriteria

performa yang ditentukan, seperti waktu respons, *overshoot*, dan stabilitas. Hasil ini menjadi dasar untuk menarik kesimpulan mengenai keberhasilan dan tantangan yang dihadapi selama proses simulasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengumpulan Data

Peneliti menggunakan parameter-parameter spesifik dari motor induksi seperti pada tabel 1 untuk mengembangkan model dinamisnya hingga memperoleh fungsi transfer yang menggambarkan hubungan antara tegangan input dan kecepatan sudut motor. Fungsi Transfernya yaitu $\frac{\Omega(s)}{V(s)}$ seperti pada Persamaan 1.

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{(Rs+Lss)(Js+B)+KtKe} \quad (1)$$

Substitusi nilai parameter, Persamaan 2 berikut adalah model matematis dari motor induksi 1 fasa :

$$= \frac{0.01}{0.01s^2 + 0.01s + 0.0001} \quad (2)$$

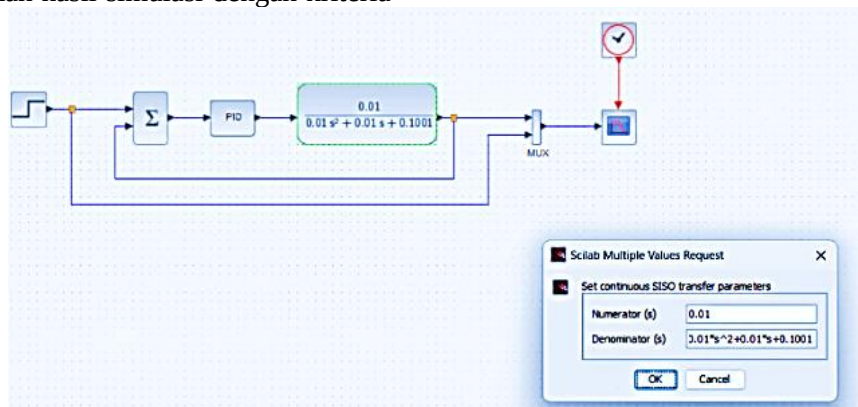
Numerator coefficients = 0.01

Denominator coefficients = $0.01s^2 + 0.01s + 0.1001$.

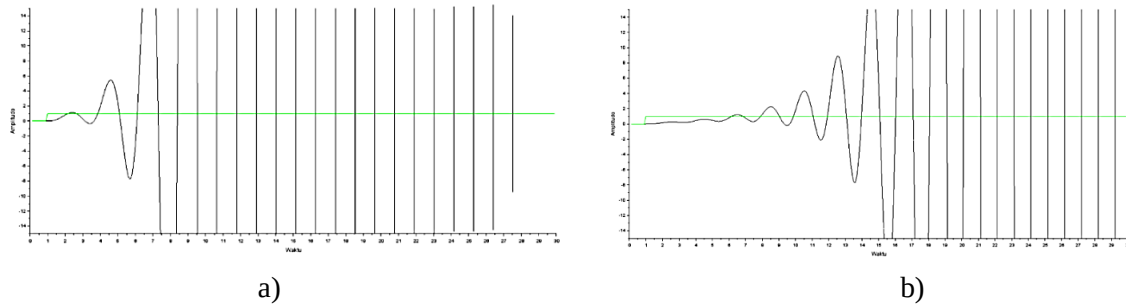
Karakteristik sistem kerja motor induksi 1 fasa sebelum di optimalkan menggunakan algoritma PSO ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai-nilai Awal	
Keterangan	Nilai PID
Kp (<i>Proportional Gain</i>)	1
Ki (<i>Integral Gain</i>)	2
Kd (<i>Derivative Gain</i>)	3

Desain model sistem kontrol ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Tampilan desain model sistem kontrol



Gambar 3. Grafik tampilan putaran motor a) sebelum dan b) sesudah dioptimalkan.

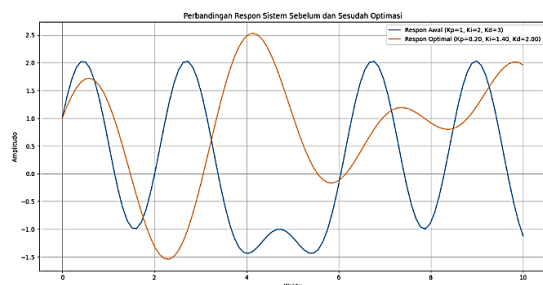
Gambar 3 menunjukkan grafik karakteristik tampilan putaran motor sebelum dan setelah dioptimalkan. Karakteristik sistem kerja motor induksi 1 fasa setelah di optimalkan menggunakan algoritma PSO ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai PID setelah di Optimasikan

Keterangan	Nilai PID
Kp (<i>Proportional Gain</i>)	0.20
Ki (<i>Integral Gain</i>)	1.40
Kd (<i>Derivative Gain</i>)	2.00

Pembahasan Hasil Penelitian

Perbandingan respon sistem keluaran motor menggunakan software python hasil perbandingan tersebut dinyatakan dalam grafik seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan keluaran motor

Grafik yang ditampilkan pada Gambar 4 memperlihatkan perbandingan antara respons sistem sebelum dan sesudah optimasi parameter kontrol PID pada motor induksi 1 fasa. Pada respons awal, dengan parameter PID $K_p = 1$, $K_i = 2$, dan $K_d = 3$, terlihat bahwa sistem mengalami osilasi yang signifikan dengan amplitudo tinggi dan periode osilasi yang lebih pendek. Sistem ini cenderung menunjukkan respons yang kurang stabil dengan overshoot dan undershoot yang besar. Amplitudo

maksimum awal mencapai lebih dari 2, sedangkan minimum kurang dari -1,5. Sebaliknya, pada respons optimal setelah optimasi parameter PID, yang memiliki nilai $K_p = 0,20$, $K_i = 1,40$, dan $K_d = 2,00$, sistem menunjukkan perbaikan yang signifikan. Amplitudo osilasi berkurang drastis, menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih stabil. Overshoot dan undershoot yang lebih kecil serta pencapaian kondisi steady-state yang lebih cepat merupakan indikasi dari sistem yang lebih terkendali. Amplitudo maksimum awal mencapai sekitar 1,5, sedangkan minimum mendekati -1.

Dari grafik tersebut, dapat dinyatakan bahwa optimasi PSO untuk parameter PID menghasilkan respons sistem yang lebih stabil dan terkendali. Pengurangan nilai K_p serta penyesuaian nilai K_i dan K_d membantu mengurangi osilasi dan meningkatkan performa sistem (Zhang & Yang, 2024). Respons optimal menunjukkan sistem yang lebih responsif dengan amplitudo yang lebih rendah, mengindikasikan kontrol yang lebih baik terhadap motor induksi 1 fasa.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa menggunakan kontrol PID yang dioptimalkan dengan algoritma PSO. Melalui serangkaian simulasi dan analisis, beberapa kesimpulan dapat ditarik:

1. Peningkatan kinerja pengendalian putaran motor induksi 1 fasa dapat dilakukan dengan menggabungkan kontrol PID dengan algoritma PSO,
2. Nilai parameter PID yang optimal untuk motor listrik 1 fasa yang di optimalkan dengan algoritma PSO yaitu ($K_p=0,20$, $K_i=1,40$, $K_d=2,00$),
3. Kontrol PID berbasis algoritma PSO dalam sistem pengendalian kecepatan putaran

motor induksi 1 fasa berhasil mengatasi permasalahan non-linearitas serta variabilitas.

6. REFERENSI

- Farizi, S. A., & Wahyudi. (2024). Pengendalian Kecepatan Motor Dc Menggunakan Kontroler Pid Adaptif Berbasis Model Reference Adaptive Control (Mrac). *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 185–192.
- Gesang Amar & Noer Soedjarwanto. (2024). Rancang Bangun Multilevel Inverter Dengan Filter Pasif L-C-L Dan Teknologi Iot Untuk Memantau Perubahan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 18(1), 1–8. <https://doi.org/10.23960/Elc.V18n1.2489>
- Kristiyono, T. A., & Azhar, A. (2019). *Identifikasi Faktor-Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Harga Pembangunan Kapal Baru Berbasis Pentaple Bottom Line Plus R*.
- Kurniyanto, P., Jati, U. S., & Laksana, N. A. S. (2022). Tugas Akhir: Rancang Bangun Sistem Transmisi Pemutar Drum Pada Mesin Pengering Cocopeat Tipe Rotary Dryer Kapasitas 10 Kg.
- Mikelsten, D. (2019). *Otomasi Dan Teknologi Berkembang* (Vol. 3). Cambridge Stanford Books.
- Muzawi, R., & Kom, M. (2024). *Fundamental Sistem Kontrol*. Serasi Media Teknologi.
- Noor, N. C. (2023). *Desain Sistem Kontrol Untuk Meningkatkan Kapasitas Low Voltage Ride Through (LVRT) Pada Turbin Angin Menggunakan Statcom Berbasis Kendali Sistem Linear Quadratic Regulator (LQR)= Design Of Control System To Enhance Low Voltage Ride Through (LVRT) Capability In Wind Turbines Using Statcom Based On Linear Quadratic Regulator (LQR) Control*.
- Prasetyo, D. K., Fauziyah, M., & Adhisuwignjo, S. (2024). Kontrol Pid Pada Pengaturan Kecepatan Motor Ac Berbasis Esp32. 2(6), 71–80.
- Putra, A. W. (2020). *Perancangan Kendali LQR-PD Untuk Pengendalian Sumbu Elevasi Gun Pada Turret-Gun Kaliber 20 Milimeter*.
- Ridwan, M. (2018). Rancang Bangun Sistem Kontrol Kecepatan Motor Bldc Menggunakan Anfis Untuk Aplikasi Sepeda Motor Listrik. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Rizki, A. M., & Nurlaili, A. L. (2021). Algoritme Particle Swarm Optimization (Pso) Untuk Optimasi Perencanaan Produksi Agregat Multi-Site Pada Industri Tekstil Rumahan. *Journal Of Computer, Electronic, And Telecommunication*, 1(2). <https://doi.org/10.52435/Complete.V1i2.73>
- Saini, I. M., Yunus, A. S., Djalal, M. R., & S St, M. (2024). *Swarm Intelligence: Craziness Particle Swarm Optimization Untuk Optimasi Sistem Tenaga Listrik*. Deepublish.
- Supriyadi, E., & Wijayati, D. (2020). Penggunaan Scilab Untuk Memperkenalkan Kepada Siswa Smk Tentang Dasar Matematika Dalam Pemrograman Komputer. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 03(02), 11–21.
- Suseno, E. W., Ma'arif, A., & Puriyanto, R. D. (2022). Tuning Parameter Pengendali Pid Dengan Metode Algoritma Genetik Pada Motor Dc. *Telka: Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi, Dan Kontrol*, 8(1), 1–13.
- Younas, M. B., Khalid, H. A., Javed, A., Yetis, H., Goktas, T., & Arkan, M. (2021). Performance Enhancement Of Single-Phase Induction Motor Using Ga Based Multi-Objective Optimisation. *International Journal Of Electronics*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00207217.2021.1969445>
- Zhang, X., & Yang, Y. (2024). Optimization Of Pid Controller Parameters Using A Hybrid Pso Algorithm. *International Journal Of Dynamics And Control*, 12(10), 3617–3627. <https://doi.org/10.1007/S40435-024-01455-Y>