

# Optimasi Thermal Oil Heater Menggunakan ACO Sebagai Tuning PID Controller

<sup>1\*</sup> Machrus Ali, <sup>2</sup> Mochamad Ali Fikri Haiqal, <sup>3</sup> Rukslin, <sup>4</sup> Dwi Ajiatmo

<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang, Jl Gus Dur 29A, Mojongapit, Jombang

<sup>1\*</sup> machrus7@gmail.com, <sup>2</sup> binding1822@gmail.com, <sup>3</sup> rukslin05@gmail.com, <sup>4</sup> ajiatmo@gmail.com

## Article Info

### Article history:

Received March 9<sup>th</sup>, 2023

Revised March 21<sup>th</sup>, 2023

Accepted April 22<sup>th</sup>, 2023

### Keyword:

ACO

Thermal Oil Heater

PID Controller

Thermal Oil Heater

## ABSTRACT

The furnace is a piece of equipment used to heat materials or change their shape. Process control has become increasingly important in industry, as a consequence of global competition. Year after year, furnaces have improved in both industrial processes and equipment. The tuning process plays a role in ensuring that the performance of a system meets operational objectives. Intelligent control based on Artificial Intelligence (AI) has been developed to improve conventional control so that the output voltage is always considered constant under changing loads. From the simulation results of this research, it was found that the PID-ACO controller model is the best model for using a PID control system. This design without control never reaches a steady state, with the undershoot being quite small, the PID-ACO control system has the fastest settling time and steady-state response. Even though PID-ACO has a higher overshoot than PID-Auto, the undershoot is higher than PID-Auto. PID-ACO has lower overshoot and undershoots than PID-Auto

Copyright © 2023 Nucleus Journal

All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v2i1.2101>

### Corresponding Author:

Machrus Ali

Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum

Address: Jl. Gus Dur No.29A, Mojongapit, Kec. Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur 61419

Email: machrus7@gmail.com

*Abstrak*—Furnace merupakan sebuah peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan atau mengubah bentuknya. Pengendalian proses telah menjadi semakin penting dalam industry, sebagai konsekuensi dari persaingan global, Tahun demi tahun, furnace telah meningkat baik dalam proses dan peralatan industri. Proses tuning berperan dalam memastikan bahwa kinerja sebuah sistem sudah memenuhi tujuan operasi. Kontrol cerdas berbasis Artificial Intelligent (AI) banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional untuk mengontrol agar tegangan keluaran selalu berada dinilai konstan pada beban yang berubah-ubah. Dari hasil simulasi penelitian ini didapatkan bahwa Model controller PID-ACO adalah model terbaik dalam pemakaian sistem kontrol PID. Hal ini Desain tanpa kontrol tidak pernah mencapai steady state, dengan undershoot terbilang cukup kecil, sistem kontrol PID-ACO mempunyai settling time dan steady state respon tercepat. Meskipun PID-ACO mempunyai overshoot yang lebih tinggi dari PID-Auto, undershoot lebih tinggi dari PID-Auto. PID-ACO memiliki overshoot dan undershoot lebih rendah PID-Auto

## I. PENDAHULUAN

*Thermal oil heater* adalah *boiler* yang menggunakan cairan penghantar panas (contoh seperti oli) sebagai media penghantar panas. Proses pertama oli di kirim ke *thermal oil heater*. Berbeda dengan steam boiler di mana air disimpan dulu lalu dipanaskan, oli langsung jalan melewati *thermal oil heater* tanpa di simpan. Oli ini melewati gulungan pipa yang berada dalam *thermal oil heater*. Gulungan ini memutar burner (lidah api) di mana oli di panasi saat oli memutar lidah api tersebut.

Gulungan pipa tersebut di desain dan di buat dengan detail, karena perlu perhitungan agar *thermal oil heater* bisa berjalan dengan lancar. Contohnya perhitungan kecepatan oli memutar gulungan harus tepat agar mendapatkan energi panas yang optimum. Jika kecepatan terlalu lama maka energi panas yang di dapat banyak tapi oli yang di kirim ke produksi akan sedikit. Sebaliknya bila terlalu cepat oli akan terkirim ke proses tanpa adanya energi panas yang tersimpan.

Pengendalian proses telah menjadi semakin penting dalam industri proses sebagai konsekuensi dari persaingan global, cepat perubahan kondisi ekonomi, dan peraturan lingkungan dan keselamatan yang lebih ketat. Kontrol proses juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan proses lebih fleksibel dan lebih kompleks untuk pembuatan produk bernilai tambah tinggi. Salah satu kompleks dan sulit dalam proses kontrol adalah kontrol tuning. Kontrol tuning isu kunci utama untuk mengoperasikan sebuah industri. Proses tuning berperan dalam memastikan bahwa kinerja sebuah sistem sudah memenuhi tujuan operasi. Sehingga perlu optimasi dan pengujian tersendiri pada bagian sistem kontrol PID untuk mendapatkan hasil pengontrolan temperatur lebih stabil dan efisien dibanding dengan pengontrolan konvensional[1].

Optimalisasi diperlukan untuk menghasilkan hasil kontrol suhu yang baik, karena menawarkan hasil yang lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan kontrol konvensional. Kontrol cerdas berbasis Artificial Intelligence telah banyak berkembang untuk meningkatkan kontrol konvensional, kontrol PID, kontrol Fuzzy, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)[2][3], dan jenis kontroler lainnya. Metode yang telah diteliti dan berhasil dalam optimasi sistem kontrol adalah Particle Swarm Optimization (PSO)[4][5], Firefly Algorithm (FA)[6][7], Imperialist Competitive Algorithm (ICA)[1][8][9], Bat algorithm (BA)[10][11], and Ant Colony Optimization (ACO)[12][11]. Kontrol cerdas berbasis *Artificial Intelligent* sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Oleh sebab itu, pada tugas penelitian ini akan mendesain model temperatur pada *Thermal Oil Heater* menggunakan kontrol PID yang dituning dengan *Artificial Inteligent ( AI )* dengan metode *Firefly Algorithm (FA)* untuk mengontrol temperatur *Thermal Oil Heater* agar lebih stabil dan efisiensi..

## II. THERMAL OIL HEATER

Furnace adalah peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan atau mengubah bentuk (misalnya proses rolling, annealing) atau mengubah sifatnya juga dikenal sebagai oven. Perpindahan energi dalam furnace terjadi secara bertahap menghasilkan energi panas oleh elemen pemanas yang energinya disuplai dari energi listrik.

Kontrol proses telah menjadi semakin penting dalam proses industri sebagai konsekuensi dari persaingan global, kondisi ekonomi yang berubah dengan cepat, peraturan lingkungan dan keselamatan yang lebih ketat. Kontrol proses juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan proses yang lebih fleksibel dan lebih kompleks untuk pembuatan produk bernilai tambah tinggi. Salah satu kesulitan dalam proses pengendalian adalah penyesuaian pengendalian. Kontrol penyetelan kunci utama untuk industri yang beroperasi. Proses penyetelan memastikan bahwa kinerja sistem memenuhi tujuan operasi. Sehingga perlu dilakukan optimasi dan pengujian secara terpisah pada sistem kontrol PID untuk mendapatkan hasil kontrol temperatur yang lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan kontrol konvensional.

Kontrol cerdas berbasis Artificial Intelligence telah banyak berkembang untuk meningkatkan kontrol konvensional. Karena itu, pada tugas akhir ini akan merancang model temperatur pada furnace pemanas menggunakan kontrol PID. yang disetel dengan Artificial Intelligence (AI) dengan metode Ant Colony Optimization (ACO) untuk mengontrol suhu furnace pemanas agar lebih stabil dan efisien[13]. Hasil performansi dari temperatur yang dikontrol menggunakan PID dan tuning dengan Ant Colony Optimization diharapkan memiliki tingkat efisiensi dan kestabilan temperatur yang lebih baik sehingga furnace pemanas dapat bekerja pada temperatur yang diinginkan sesuai set point dan dapat mengurangi konsumsi gas dan udara. yang merupakan bahan utama furnace.

### 2.1. Fungsi Thermal Oil Heater



Gambar 1. furnace untuk proses pembakaran

Fungsi furnace adalah untuk menghasilkan energi panas dan mencapai pembakaran. Alat ini bekerja dengan cara menaikkan temperatur fluida pembakaran. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar cair dan gas yang dinyalakan yang terdapat pada burner. Suhu yang dihasilkan oleh furnace bisa mencapai lebih dari  $1000^{\circ}\text{C}$ [14][15][16].

Oli panas bertekanan tinggi dan temperatur tinggi yang dihasilkan dari proses pemanasan tersebut, selanjutnya akan di alirkan atau didistribusikan untuk memanaskan air pada tanki, dimana air tersebut akan digunakan untuk pencucian lembaran seng pada line.

Temperature air pada bak/tanki yang digunakan untuk pencucian seng kurang lebih kisaran  $100^{\circ}\text{C}$ . Dimana panas itulah yang dihasilkan oleh pipa spiral yang dialiri oleh oli panas dari thermal oil heater. Pipa spiral tersebut berada didalam bak air untuk memanaskannya.



Gambar 2. Thermal oil heater

### 2.2. Instrument Pada Thermal Oil Heater

Pada system thermal oil heater, didalam pengoperasiannya untuk memanaskan oli agar tercapai setingan temperature yang diinginkan membutuhkan beberapa instrument untuk mengendalikannya. Instrument-instrument tersebut yaitu sebagai berikut:

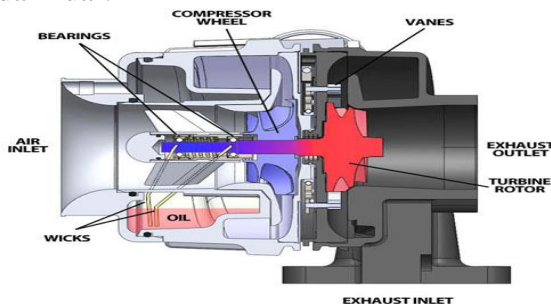
**A. Burner**

Burner adalah suatu alat yang mensuplai atau mengatur bahan bakar dan udara yang akan dibakar. Salah satu kegunaannya adalah untuk mencampur udara dan bahan bakar untuk menciptakan pembakaran yang baik dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Secara umum bagian burner terbagi menjadi dua bagian yaitu pilot burner dan main burner. Pilot burner digunakan sebagai titik awal proses penyalaan dari pemantik api (ignition), kemudian setelah penyalaan akan dilanjutkan dengan burner utama hingga memiliki keadaan dimana burner mengkonsumsi lebih banyak gas dan udara.



Gambar 3. Burner

Burner pada *thermal oil heater* berfungsi sebagai alat pembakaran dengan cara mencampur atau mengontrol perpaduan antara gas dan udara, sesuai komposisi yang diinginkan. Ketika gas yang di kontrol oleh solenoid valve terbuka, maka busi pemantik akan bekerja dan aktuatur udara akan membuka secara otomatis. Aliran udara yang dikontrol oleh aktuatur berasal dari motor 3 phase yang menyedot udara dari luar.



Gambar 4. Ilustrasi burner

**B. Gauge Pressure**

Menurut Auzikni, 2015: Gauge pressure merupakan pembacaan tekanan relatif terhadap tekanan atmosfer disekitarnya. Sebagai contoh, pada gambar diatas terlihat pressure gauge menunjuk pada angka 230 barg (bar gauge). Artinya, tekanan dalam pressure gauge relatif terhadap tekanan atmosfer disekitarnya adalah sebesar 230 barg.



Gambar 5. Gauge Pressure

*Gauge pressure* berbeda dengan absolute pressure merupakan pembacaan tekanan relatif terhadap tekanan ruang hampa (vakum), oleh karena itu disebut absolute, karena tidak tergantung oleh tekanan atmosfer disekitarnya. Sebagai contoh, apabila tekanan pressure gauge diatas diukur menggunakan absolute gauge dengan kondisi tekanan atmosfer sekitarnya adalah 1 bar, maka absolute pressurennya adalah  $230 + 1 = 231$  bar-a (bar atmospher).

*Gauge pressure* didalam sistem *thermal oil heater* memiliki peran sebagai pendeteksi atau pembaca pressure didalam jalur pipa oli, untuk mengetahui seberapa besar aliran oli panas yang ada didalam pipa.

### III. METODE

#### A. PID Controller

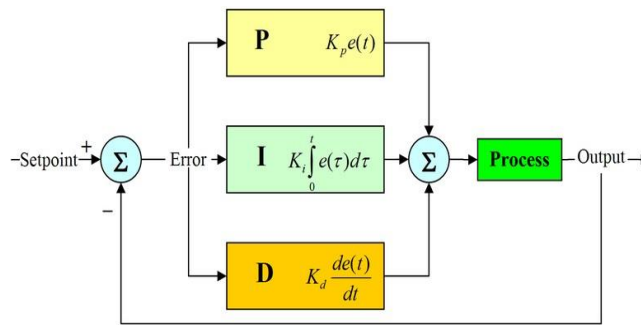
Evolusi pertama dari pengontrol PID dikembangkan pada tahun 1911 oleh Elmer Sperry. Namun, baru pada tahun 1933 Taylor Instrumental Company (TIC) memperkenalkan pengontrol pneumatik pertama dengan pengontrol proporsional yang dapat disetel sepenuhnya. Beberapa tahun kemudian, insinyur kontrol menghilangkan kesalahan steady state yang ditemukan pada pengontrol proporsional dengan mengatur ulang titik ke beberapa nilai buatan selama kesalahannya bukan nol. Pengaturan ulang ini "mengintegrasikan" kesalahan dan dikenal sebagai pengontrol proporsional-Integral. Kemudian, pada tahun 1940, TIC mengembangkan pengontrol pneumatik PID pertama dengan aksi turunan, yang mengurangi masalah overshooting. Namun, baru pada tahun 1942, ketika aturan penyetelan Ziegler dan Nichols diperkenalkan, para insinyur dapat menemukan dan mengatur parameter yang sesuai dari pengontrol PID [17][18][19]. Pada pertengahan 1950-an, pengontrol PID otomatis diadopsi secara luas untuk penggunaan industri.

Pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah pengendali mekanisme umpan balik yang biasa digunakan dalam sistem kendali industri. Kontrol PID secara terus menerus menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses yang diukur [20] [21] [22] [23].

PID (dari singkatan bahasa *Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional*, *Integratif* dan *Derivatif*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

Kendali algoritma PID merupakan kendali yang sederhana, satu persamaan, namun dapat digunakan untuk menghasilkan performa kendali yang relatif cukup baik pada berbagai proses. Fleksibilitas ini diperoleh melalui beberapa pengaturan atau penyetelan variabel, dimana nilai yang diperoleh dapat dipilih untuk memodifikasi perilaku dari sistem umpan balik. Prosedur yang dipilih disebut dengan tuning (penyetelan), dan parameter yang atur disebut penyetelan konstan [24][24].

Penalaan parameter kontroler PID (*Proporsional Integral Diferensial*) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*Plant*). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan [25][26][27][28][29]. PID blok diagram dapat dilihat pada gambar 6 :



Gambar 6. Digram Blok Pengendali PID

**B. Ant Coplony Optimization**

Ant Colony Optimization atau Algoritma Keloni Semut termasuk salah satu algoritma pada bidang Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan.

1. Aturan transisi status

Seekor semut yang ditempatkan pada titik t memilih untuk menuju ke titik v, kemudian diberikan bilangan pecahan acak q dimana  $0 \leq q \leq 1$ ,  $q_0$  adalah sebuah parameter yaitu probabilitas semut melakukan eksplorasi pada setiap tahapan, dimana ( $0 \leq q_0 \leq 1$ ) dan  $p_k(t,v)$  adalah probabilitas di mana semut k memilih untuk bergerak dari titik t ke titik v.

2. Aturan pembaruan pheromone lokal

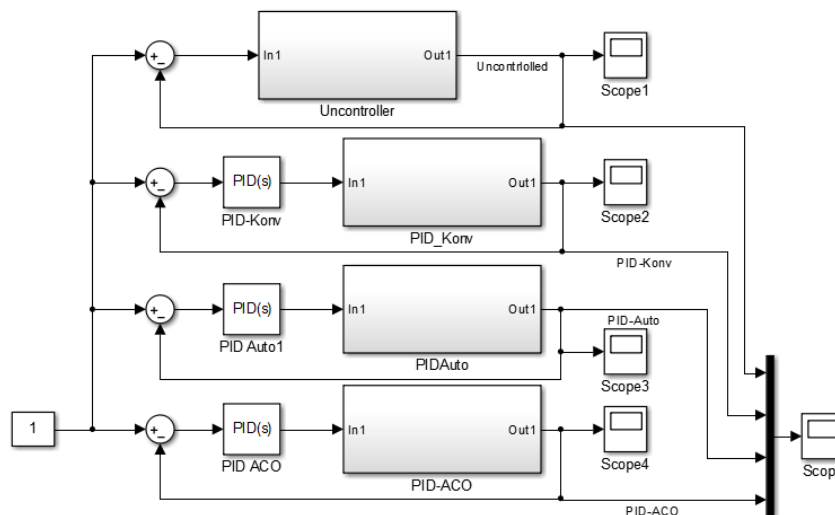
Selagi melakukan tur dan mencari tujuan (food), semut mengunjungi ruas-ruas dan mengubah tingkat pheromone pada ruas-ruas tersebut dengan menerapkan aturan pembaruan pheromone lokal.

3. Aturan pembaruan pheromone global

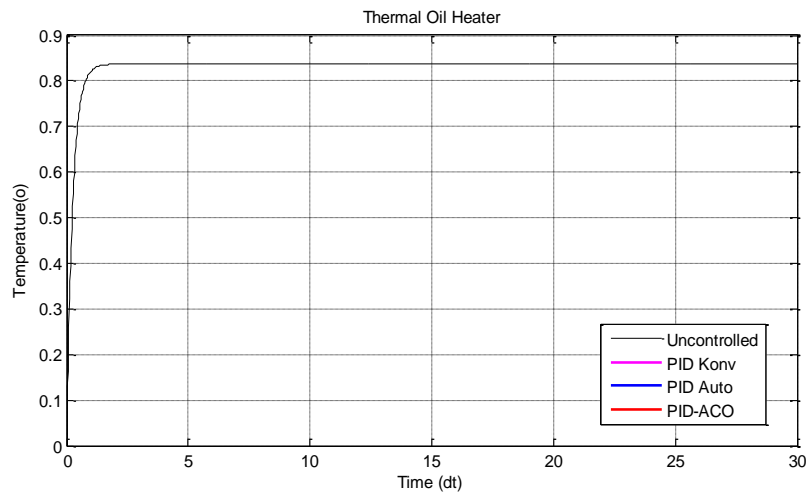
Pada sistem ini, pembaruan pheromone secara global hanya dilakukan oleh semut yang membuat tur terpendek sejak permulaan percobaan. Pada akhir sebuah iterasi, setelah semua semut menyelesaikan tur mereka, sejumlah pheromone ditaruh pada ruas-ruas yang dilewati oleh seekor semut yang telah menemukan tur terbaik (ruas-ruas yang lain tidak diubah). Tingkat pheromone itu diperbarui dengan menerapkan aturan pembaruan pheromone global.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

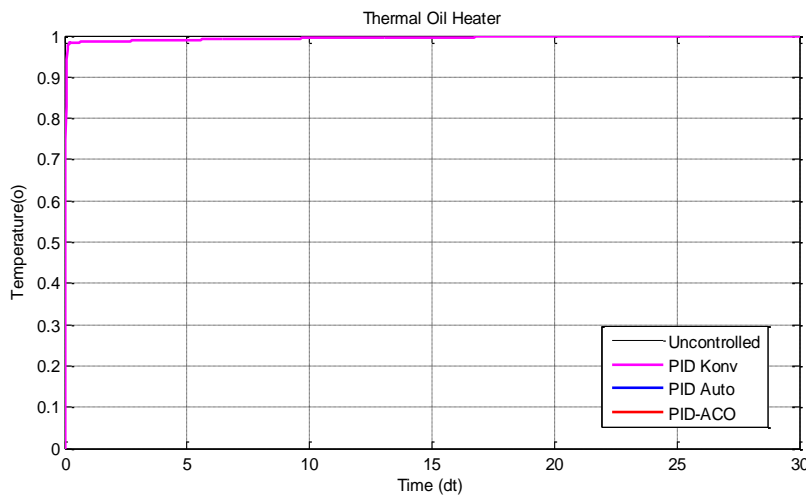
Gambar desain kontrol dapat dilihat pada gambar 7.



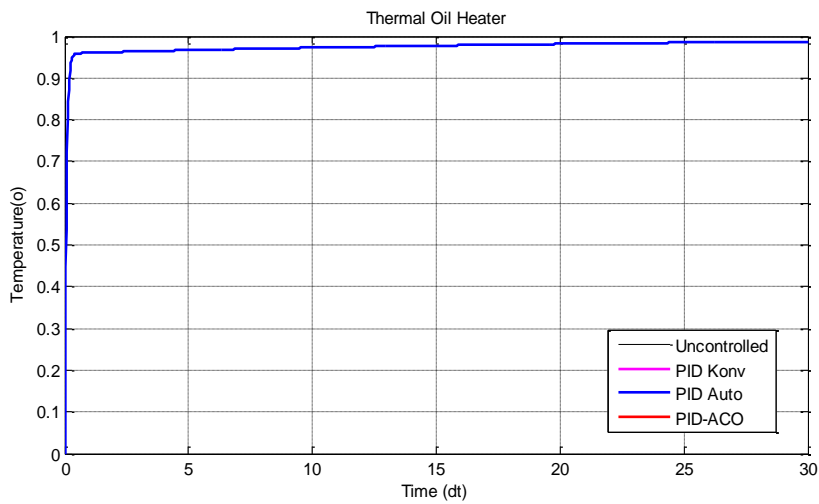
Gambar 7. desain kontrol berbagai metode



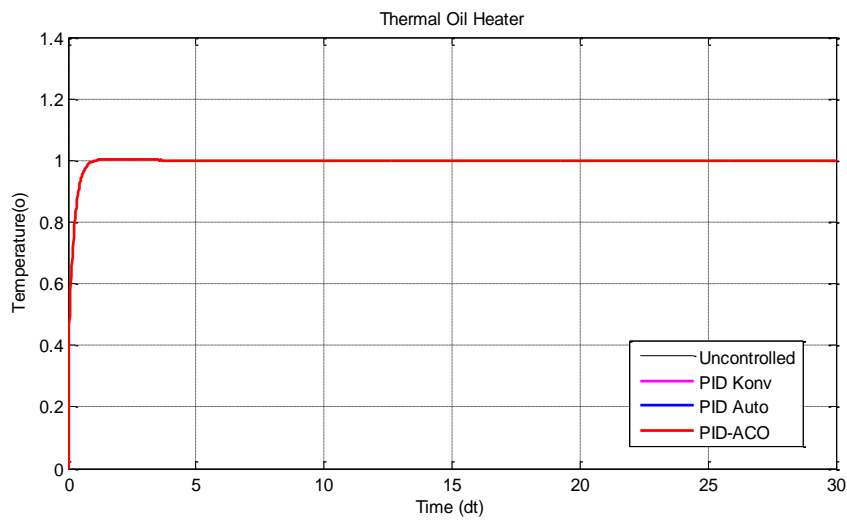
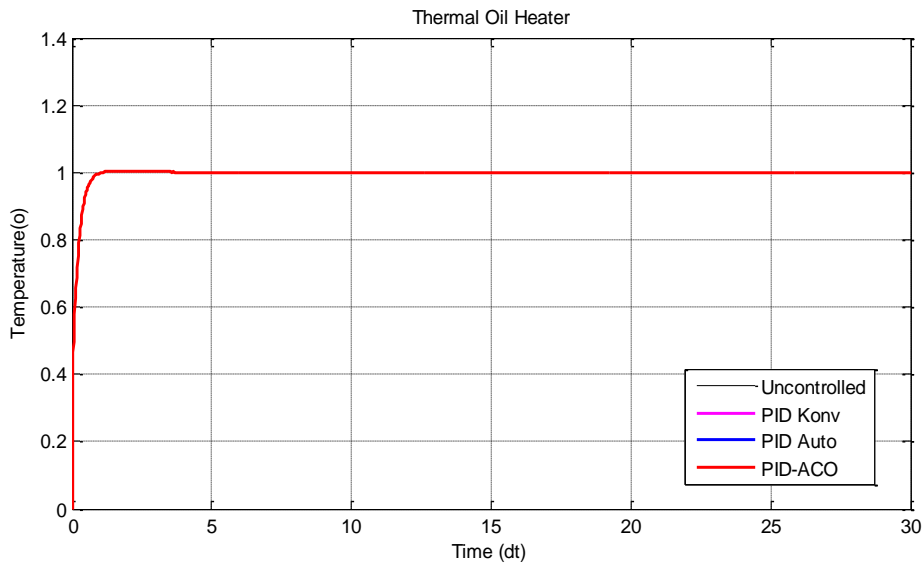
Gambar 8. Respon Tanpa kontroler



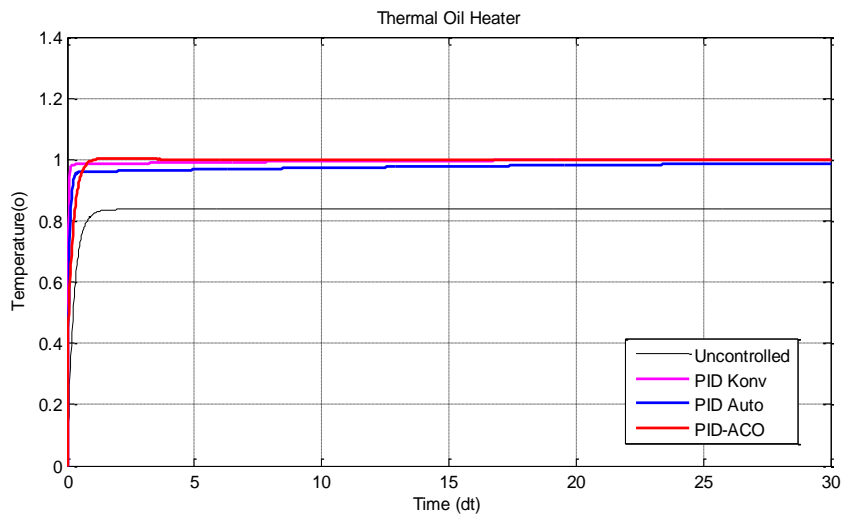
Gambar 9. Respon PID-Konvensional



Gambar 10 Respon PID-Auto tuning Matlab



Gambar 11 Respon PID-PSO Kontroler



Gambar 12. Respon Berbagai Kontroler

Tabel 3 Respon masing-masing controller

|               | Unc    | PID-Konv | PID-Auto | PID-ACO |
|---------------|--------|----------|----------|---------|
| Kp_ant        | -      | 1        | 4.287    | 2.153   |
| Ki_ant        | -      | 1        | 0.177    | 1.466   |
| Kd_ant        | -      | 0        | 0.125    | 0.149   |
| Overshot      | -      | -        | -        | 0.004   |
| Undershot     | 0.1618 | 0.016    | 0.045    | 0       |
| Settling time | ~      | 77.503   | 57.748   | 5.505   |

Dari Gambar 5 sampai dengan gambar 9 dan dari table 3. menunjukkan bahwa; Desain tanpa kontrol tidak pernah mencapai steady state, dengan undershot paling besar = 0,1618 ; desain PID-konvensional pada  $k_p = 1$ ,  $k_i = 1$ ,  $k_d = 0$  mendapatkan overshoot terbesar = 0 dan undershot = 0.0161, dengan settling time = 77.503 detik; pada respon PID Auto tuning matlab pada  $k_p = 4.287$ ,  $k_i = 0.177$ ,  $k_d = 0.125$  mendapatkan nilai overshoot = 0, undershot = 0.045, settling time pada saat 57.748 detik; respon pada PID-ACO dengan  $k_p = 2.153$ ,  $k_i = 1.466$ ,  $k_d = 0.149$  mendapatkan nilai overshoot sebesar = 0.004, undershot = 0, pada settling time 5.505, detik. Hal ini menunjukkan bahwa kontroler PID-ACO adalah metode terbaik dengan overshoot terkecil pada 0.004, undershot terkecil pada 0 dan settling time tercepat pada 5.505 detik

## v. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi penelitian ini didapatkan bahwa Model controller PID-ACO adalah model terbaik dalam pemakaian sistem kontrol PID. Hal ini Desain tanpa kontrol tidak pernah mencapai steady state, dengan undershot terbilang cukup kecil, sistem kontrol PID-ACO mempunyai settling time dan steady state respon tercepat. Meskipun PID-ACO mempunyai overshoot yang lebih tinggi dari PID-Auto, undershoot lebih tinggi dari PID-Auto. PID-ACO memiliki overshoot dan undershoot lebih rendah PID-Auto, hal ini dikatakan tidak masalah karena tidak memiliki pengaruh terhadap energi yang dihasilkan dari photovoltaic.

Berikutnya yang mendasari sistem kontrol PID-ACO adalah model sistem terbaik adalah karena penelitian ini juga bertujuan bagaimana respon sistem dengan cepat menyesuaikan arah menghadap matahari dengan menggunakan berbagai macam kontrol PID.

## vi. Daftar Pustaka

- [1] M. Ali, A. Raikhani, B. Budiman, and H. Sopian, "Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 57–81, Apr. 2019, doi: 10.21070/jeee-u.v3i1.2023.
- [2] M. Ali, H. Nurohmah, Budiman, J. Suharsono, H. Suyono, and M. A. Muslim, "Optimization on PID and ANFIS Controller on Dual Axis Tracking for Photovoltaic Based on Firefly Algorithm," in 2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE), Oct. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981428.
- [3] M. Ali and H. Nurohmah, "The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System," in Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017), 2017, pp. 215–218. [Online]. Available: [http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/41-Fullpaper\\_Machrus\\_Ali\\_Paper\\_Machrus\\_fortei\\_wind-diesel\\_ACO\\_ANFIS.pdf](http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/41-Fullpaper_Machrus_Ali_Paper_Machrus_fortei_wind-diesel_ACO_ANFIS.pdf)
- [4] M. Ali et al., "The comparison of dual axis photovoltaic tracking system using artificial intelligence techniques," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 10, no. 4, p. 901, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijai.v10.i4.pp901-909.

- 
- [5] M. Ali, Muhlasin, H. Nurohmah, A. Raikhani, H. Sopian, and N. Sutantra, "Combined ANFIS method with FA, PSO, and ICA as Steering Control Optimization on Electric Car," in 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), Oct. 2018, pp. 299–304. doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692885.
- [6] M. Ali, H. Suyono, M. A. Muslim, M. R. Djalal, Y. M. Safarudin, and A. A. Firdaus, "Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications," SINERGI, vol. 26, no. 2, p. 265, Jun. 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.2.016.
- [7] B. Kadaryono, Kadaryono; Rukslin, Rukslin; Ali, Machrus; Budiman, "Optimasi PID dan SMES pada Mikrohidro Berbasis Firefly Algorithm," J. TECNOSCIENZA, vol. 3, no. 1, pp. 65–80, 2018,
- [8] G. Y. Hartlambang, M. Ali, and A. Raikhani, "Unjuk Kerja Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) Dalam Mengoptimalkan Kecepatan Motor Dc Dengan Menggunakan Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap., vol. 6, no. 1, pp. 51–67, 2015, doi: <https://doi.org/10.32492/jintake.v6i1.48>.
- [9] M. Ali, D. Ajiatmo, and M. R. Djalal, "Aplikasi Modified-Imperialist-Competitive-Algorithm (MICA) Untuk Merekonfigurasi Jaringan Radial Tenaga Listrik Pada Penyulang Mojoagung," JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng., vol. 1, no. 2, pp. 49–53, Oct. 2017, doi: 10.21070/jeeeu.v1i2.1020.
- [10] L. Hakim, A. Ghoutsul Fadlili, Kholish; Raikhani, H. Nurohmah, and M. Ali, "Optimasi Load Frequency Control pada Wind-Diesel berbasis Differential Evolution dan Bat Algorithm," SinarFe7, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2018,
- [11] M. Ali, M. A. Haikal, R. Rukslin, and H. Nurohmah, "Optimisasi Steering Control Pada Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Bat Algorithm," JE-Unisla, vol. 7, no. 1, p. 36, Apr. 2022, doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.813.
- [12] M. Arrohman, R. Fajardika, M. Muhlasin, and M. Ali, "Optimasi Frekuensi Kontrol pada Sistem Hybrid Wind-Diesel Menggunakan PID Kontroler Berbasis ACO dan MFA," J. Rekayasa Mesin, vol. 9, no. 1, pp. 65–68, May 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.01.10.
- [13] M. Ali and A. Suhadak, "Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA)," Semnasinotek 2017, UN PGRI, Kediri, pp. 61–68, 2017.
- [14] Muhammad Agil Haikal, Dandy Tulus Herlambang, Machrus Ali, and Muhlasin, "Desain Optimasi PID Controller Pada Heating Furnace Temperature Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)," ALINIER J. Artif. Intell. Appl., vol. 2, no. 2, pp. 77–82, Nov. 2021, doi: 10.36040/aliner.v2i2.5162.
- [15] Machrus Ali, H. Nurohmah, Rukslin, Dwi Ajiatmo, and M Agil Haikal, "Hybrid Design Optimization of Heating Furnace Temperature using ANFIS-PSO," J. FORTEI-JEERI, vol. 1, no. 2, pp. 35–42, Dec. 2020, doi: 10.46962/forteijeeri.v1i2.21.
- [16] M. A. Ali, D. Ajiatmo, and H. Nurohmah, "Analisa Kontrol Daya Induction Furnace Pada Industri Peleburan Logam," Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap., vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2011, [Online]. Available: <http://ejournal.undar.ac.id/index.php/intake/article/view/408>
- [17] M. Hasib Al Isbilly, Markhaban Siswanto, and Machrus Ali, "Optimasi PID Controller Pada Sistem Pengaturan Irigasi Menggunakan Metode Bat Algorithm," J. JEETech, vol. 3, no. 2, pp. 78–83, Oct. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.198.
- [18] Hidayatul Nurohmah, M. Ali, Rukslin, Dwi Ajiatmo, and Muhammad Agil Haikal, "Komparasi PID, FLC, dan ANFIS sebagai Controller Dual Axis Tracking Photovoltaic berbasis Bat Algorithm," J. JEETech, vol. 3, no. 2, pp. 71–77, Sep. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.197.
- [19] M. Ibrahim, D. Ramadhan, and M. Ali, "Optimasi Controller Putaran Motor Permanent Magnet Synchronous Machine ( PMSM ) menggunakan PSO-ANFIS ( Studi Kasus di Perumdam Tirta Kencana )," Jurna; El-Sains, vol. 2, 2020.
-

- 
- [20] M. Ali and M. Muhlasin, "Auto-Tuning Method for Designing Matlab DC Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative)," *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2017.
- [21] M. R. Djalal, M. Ali, A. Imran, and H. Setiadi, "Modifikasi Desain PID Controller Pada Permanent Magnet Synchronous Motor Dengan Flower Pollination Algorithm," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 163–169, Jul. 2017, doi: 10.21063/JTE.2017.3133622.
- [22] H. Nurohmah, "Desain Frekuensi Kontrol pada Hibrid Wind-Diesel Dengan PID – Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," *J. Intake*, vol. 6, no. 2, pp. 38–45, 2015.
- [23] M. Ali, A. N. Afandi, A. Parwati, R. Hidayat, and C. Hasyim, "DESIGN OF WATER LEVEL CONTROL SYSTEMS USING PID AND ANFIS BASED ON FIREFLY ALGORITHM," *JEEMECs (Journal Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.)*, vol. 2, no. 1, Feb. 2019, doi: 10.26905/jeemecs.v2i1.2804.
- [24] Kadaryono, Rukslin, M. Ali, Askan, A. Parwanti, and I. Cahyono, "Comparison of LFC Optimization on Micro-hydro using PID, CES, and SMES based Firefly Algorithm," in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Oct. 2018, pp. 204–209. doi: 10.1109/EECSI.2018.8752733.
- [25] Muhlasin, Budiman, M. Ali, A. Parwanti, A. A. Firdaus, and Iswinarti, "Optimization of Water Level Control Systems Using ANFIS and Fuzzy-PID Model," in *2020 Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)*, Oct. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICVEE50212.2020.9243229.
- [26] M. Ali, H. Suyono, M. A. Muslim, M. R. Djalal, Y. M. Safarudin, and A. A. Firdaus, "Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications," *SINERGI*, vol. 26, no. 2, p. 265, Jun. 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.2.016.
- [27] M. R. Djalal, M. Ali, H. Nurohmah, and D. Ajiatmo, "Aplikasi Algoritma Differential Evolution untuk Desain Optimal Load Frequency Control pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Angin dan Diesel," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 5, p. 511, 2018, doi: 10.25126/jtiik.201855430.
- [28] M. Ali and M. Muhlasin, "Kontrol Kecepatan Putaran Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) Menggunakan PID, FLC Dan ANFIS," *J. Elektro*, vol. 4, no. 1, p. 253, Apr. 2019, doi: 10.30736/je.v4i1.302.
- [29] M. Ali, T. Fahmi, D. W. Khaidir, and H. Nurohmah, "Optimizing Single Axis Tracking for Bat Algorithm-based Solar Cell," *J. FESPE*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2020.