

Optimasi Kontrol Suhu Tungku Pemanas Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA)

¹Febrian Rizal Anas, ²Dwi Ajiatmo, ³Hidayatul Nurohmah, ^{4*}Machrus Ali

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang, Jl Gus Dur 29A, Mojongapit, Jombang

¹binding1822@gmail.com, ²ajiatmo@gmail.com, ³hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com, ^{4*}machrus7@gmail.com

Article Info

Article history:

Received November 25th, 2023

Revised December 19th, 2023

Accepted December 26th, 2023

Keyword:

Pemanas Suhu
PID Kontroller
Firefly Algorithms
Kecerdasan Buatan

ABSTRACT

A furnace is a piece of equipment used to heat or change shape. Process control is becoming increasingly important in industry, as a consequence of global competition. Year after year, furnaces have progressed in both industrial processes and equipment. The tuning process ensures that system performance meets operating objectives. Intelligent control based on Artificial Intelligent (AI) has developed a lot to improve conventional control to control voltage loads and is always under constant variable assessment. The research results show that the best optimization method is produced by the PID-FA method which produces overshoot = 0.0721, undershoot 0.0081, and settling time at 30.4283 seconds. The PID-FA method produces better performance, according to the desired settings, so that fuel use can have a high level of efficiency

Copyright © 2023 FORTEI Regional VII Jawa Timur.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Machrus Ali

Email: machrus7@gmail.com

1. 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 Intelegent (AI)* dengan metode *Firefly Algorithm* (FA) untuk mengontrol temperatur *Thermal Oil Heater* agar lebih stabil dan efisiensi.

2. 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 Firefly Algorithm (FA) untuk mengontrol suhu furnace pemanas agar lebih stabil dan efisien[13]. Hasil performansi dari temperatur yang dikontrol menggunakan PID dan tuning dengan Firefly Algorithm 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.

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 °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 1. *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),

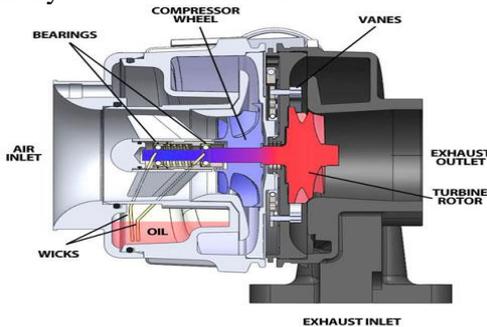
kemudian setelah penyalaan akan dilanjutkan dengan burner utama hingga memiliki keadaan dimana burner mengkonsumsi lebih banyak gas dan



udara.

Gambar 2. 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 aktuator udara akan membuka secara otomatis. Aliran udara yang dikontrol oleh aktuator berasal dari motor 3 phase yang menyedot udara dari luar.



Gambar 3. 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 4. 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.

3. 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][1][19]. Pada pertengahan 1950-an, pengontrol PID otomatis diadopsi secara luas untuk penggunaan industri.

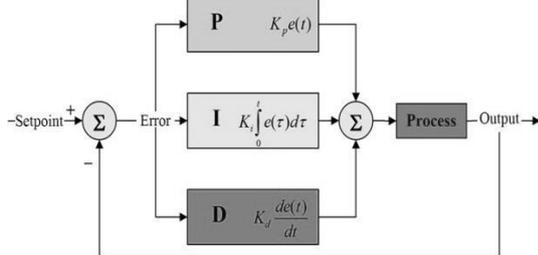
Pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah pengendali mekanisme umpan balik yang biasa digunakan dalam sistem kendali industri. Kontrol PID secara terus menerus menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses yang diukur [20] [21] [22]

[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 diatur 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 5. Digram Blok Pengendali PID

B. Firefly Algorithm (FA)

Metode yang digunakan untuk mengoptimisasi parameter PID adalah metode Firefly Algorithm (FA). Algoritma ini pertama ditemukan oleh Dr. Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007 [Yang X.S]. Pada algoritma ini terdapat tiga perumusan dasar :

Semua kunang-kunang adalah unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunang-kunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak ke arah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan berkurang seiring dengan bertambah jarak. Apabila tidak ada kunang-kunang

yang memiliki kecerahan paling cerah maka kunang-kunang akan bergerak random[23].

Tingkat kecerahan kunang-kunang dideterminasikan oleh tempat dari fungsi objektif kunang-kunang. Dalam proses permasalahan optimisasi, kecerahan cahaya kunang-kunang adalah sebanding untuk nilai dari fungsi tujuan. Bentuk lain dari kecerahan dapat didefinisikan pada cara yang sama untuk fungsi fitness pada algoritma genetika [8].

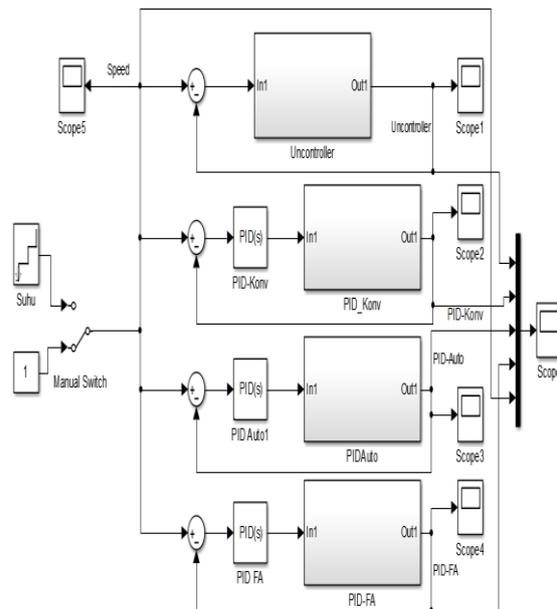
Adapun data parameter-parameter FA yang digunakan ditunjukkan pada table berikut[29].

Tabel 1 parameter FA

| Parameter | Nilai |
|----------------------|---------|
| Alpha | 0.5 |
| Beta | 0.5 |
| Gamma | 0,5 |
| Dimensi | 3 |
| Jumlah Kunang-Kunang | 50 |
| Iterasi maksimum | 50 |
| Kp_fa | 0 - 600 |
| Ki_fa | 0 - 10 |
| Kd_fa | 0 - 10 |

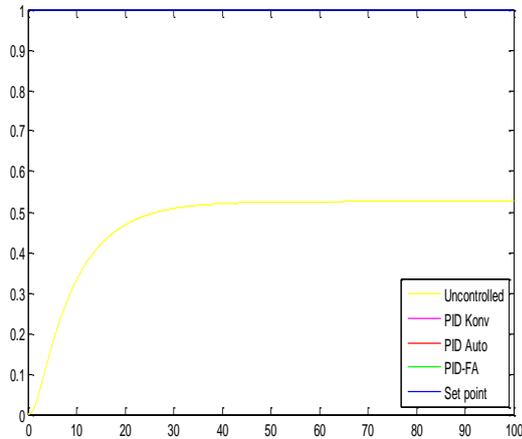
4. Hasil dan Pembahasan

Desain yang digunakan merupakan desain yang dibuat menggunakan aplikasi simulink matlab 2013a. Desain yang disusun sudah mencakup berbagai kondisi controller tersebut, yaitu PID tanpa kontrol, PID standar/konvensional, PID auto tuning, dan PID dengan metode FA. Berikut adalah gambar desain controller:



Gambar 6. Desain beberapa controller suhu pada furnace Respon system

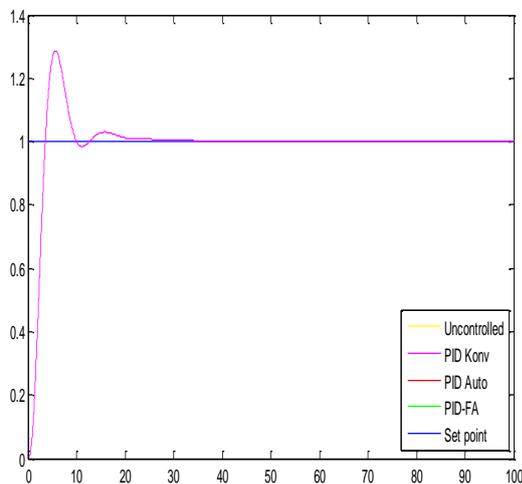
a. Respon sistem PID konvensional



Gambar 7. Respon sistem PID tanpa controller

Dari gambar 9 merupakan hasil dari simulasi PID tanpa kontroler. Perubahan suhu menunjukkan bahwa model tanpa kontroler tidak memiliki nilai k_p , k_i , dan k_d dengan nilai overshoot nol (0), undershoot 0.474, dan tidak memiliki settling time karena tidak pernah mencapai titik atau setpoint yang diinginkan sampai pada detik ke 100.

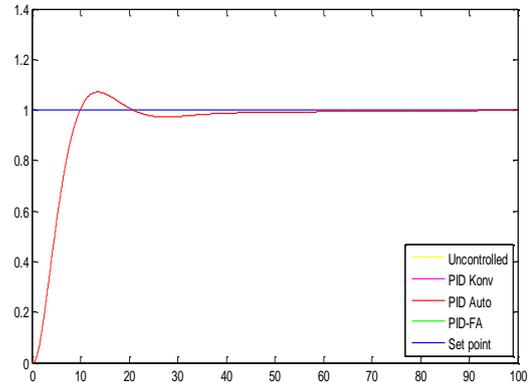
b. Respon sistem PID konvensional



Gambar 8. Respon sistem PID konvensional

Dari gambar 10 merupakan hasil dari Metode PID-Konv (konvensional) dengan nilai $k_p=1$, $k_i=1$, dan $k_d= 0$, dengan hasil overshoot = 1.2872, undershoot = 0.0161, dan settling time pada 38.4422 detik.

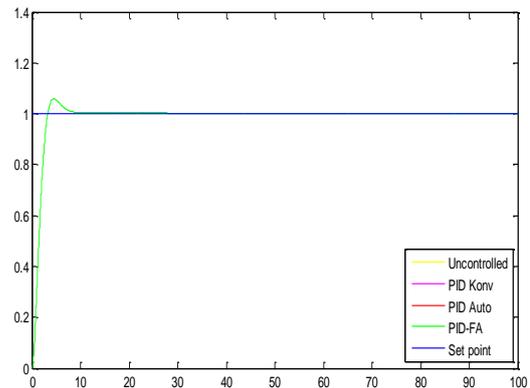
c. Respon sistem PID Auto tuning



Gambar 9. Respon sistem PID Auto tuning

Dari gambar 11 merupakan hasil dari Metode PID-Auto (tuning matlab 2013a) dengan $k_p = 4.2875$, $k_i = 0.2875$, $k_d = 1.1256$, dengan hasil overshoot = 1.0716, undershoot = 0.0277, dan settling time pada 36.5342 detik.

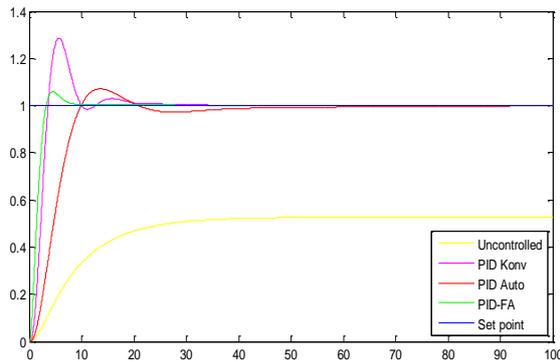
d. Respon PID tuning FA



Gambar 10. Respon PID tuning FA

Dari gambar 12 merupakan hasil dari metode PID-FA dengan nilai konstanta $k_p = 13.1121$, $k_i = 0.3486$, $k_d = 9.600$ menghasilkan overshoot = 0,0585, undershoot 0.0081, dan settling time pada 32,090 detik.

e. Hasil perbandingan respon Respon transien/karakteristik kinerja dinamis dihitung dan ditabulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 sebagai berikut :



Gambar 11. Hasil perbandingan untuk semua tanggapan

Dari gambar 13 menunjukkan bahwa pada setiap pergantian tahapan kenaikan suhu terjadi lonjakan suhu. Pada kontroller PID-FA mempunyai overshoot terkecil hampir sama dengan PID-Auto, undershoot terkecil pada PID-FA dan settling time tercepat juga pada PID-FA. Overshoot dan undershot yang terjadi dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 2 Tabel respon masing-masing controller

| Parameter | Uncontroller | PID-Konvensional | PID-Auto | PID-FA |
|---------------|--------------|------------------|----------|---------|
| Kp | - | 1 | 42.875 | 13.1121 |
| Ki | - | 1 | 0.1769 | 0.3486 |
| Kd | - | 0 | 11.256 | 9.6006 |
| Overshoot | 0 | 0.2872 | 0.0720 | 0,0585 |
| Undershoot | 0.474 | 0.0161 | 0.0277 | 0 |
| Settling time | ~ | 38.4422 | 36.5342 | 32,090 |

Dari tabel diatas menunjukkan respon masing-masing controller terhadap perubahan suhu menunjukkan bahwa model tanpa kontroler tidak memiliki nilai kp, ki, dan kd dengan nilai overshoot nol (0), undershoot 0.474, dan tidak memiliki settling time karena tidak pernah mencapai titik yang diinginkan sampai pada detik ke 100. Metode PID-Konv (konvensional) dengan nilai kp = 1, ki = 1, dan kd = 0, dengan hasil overshoot = 1.2872, undershoot = 0.0161, dan settling time pada 38.4422 detik. Metode PID-Auto (tuning matlab 2013a) dengan kp = 4.2875, ki = 0.2875, kd = 1.1256, dengan hasil overshoot = 1.0716, undershoot = 0.0277, dan settling time pada 36.5342 detik. Sedangkan pada metode PID-FA dengan nilai konstanta kp = 13.1121, ki = 0.3486, kd = 9.6006 menghasilkan overshoot = 0,0585, undershoot 0, dan settling time pada 32,090detik

5. KESIMPULAN

Pengaplikasian permodelan Simulink tuning PID controller temperatur heating furnace berbasis FA dapat berjalan baik pada program matlab 2013a. Mendapatkan hasil dan pemodelan dari Pengaplikasian sistem temperatur pada heating furnace tanpa kontrol, dengan kontrol PID, dan PID control dengan tuning FA.

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 13 dan table 2 menunjukkan bahwa metode optimasi terbaik dihasilkan oleh metode PID-FA dengan menghasilkan overshoot = 0.0721, undershoot 0.0081, dan settling time pada 30.4283 detik. Meskipun pada PID-Auto menghasilkan nilai overshoot yang sedikit lebih kecil, akan tetapi settling time dan undershoot nya cukup besar, sehingga dipilih PDI-FA sebagai metode terbaik dan cocok digunakan dalam kontrol temperatur heating furnace. Dengan diterapkan metode PID-FA terhadap heating furnace, maka menghasilkan temperatur yang stabil, dan pada saat ada perubahan setpoin temperatur, maka metode PID-FA akan cepat tercapai pada perubahan temperatur yang di setting sehingga dari segi penggunaan bahan bakar dapat memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.

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

- [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. TECNOSCENZA*, vol. 3, no. 1, pp. 65–80, 2018, [Online]. Available: <http://ejournal.kahuripan.ac.id/index.php/TECNOSCENZA/article/view/111>
- [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/jee-u.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, [Online]. Available: <https://ejournal.fortei7.org/index.php/SinarFe7/article/view/17>
- [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/alinier.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 Kontroler 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, [Online]. Available: <https://index.pkp.sfu.ca/index.php/record/view/856960>
- [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.
-