

Desain *Controller* Pada *Heating Furnace* Berbasis 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

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

Abstract

Furnace is an equipment used to heat or change shape. Process control has become increasingly important in industry, as a consequence of global competition, Year after year, furnaces have improved in both process and industrial equipment. The tuning process ensures that system performance meets operating objectives. Artificial Intelligent (AI)-based intelligent control has developed a lot to improve conventional controls to control voltage loads and is always under constant assessment of the variable. In this research task, it will be discussed about the control of the furnace temperature so that it remains constant with PID and by tuning the Firefly Algorithm (FA) with changes in the output voltage obtained which have better settling time, overshoot and undershoot.

Keywords — Thermal Oil Heater, FA, PID Controller.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v2i2.2201>

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. Pada tugas penelitian ini akan dibahas mengenai kontrol temperature furnace agar tetap berada dinilai konstan dengan PID dan dengan tuning Firefly Algorithm (FA) dengan perubahan tegangan keluaran didapatkan memiliki settling time, overshoot dan undershoot yang lebih baik.

Kata Kunci — *Thermal Oil Heater*, FA, PID Controller

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

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)[1], dan jenis kontroler lainnya. Metode yang telah diteliti dan berhasil dalam optimasi sistem kontrol adalah Particle Swarm Optimization (PSO)[2][3][4][5], Firefly Algorithm (FA)[6][7][8][9][10], Imperialist Competitive Algorithm (ICA)[11][12], Bat algorithm (BA)[13][14][15], and Ant Colony Optimization (ACO)[16][14]. 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 Intelligence (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 Firefly Algorithm (FA) untuk mengontrol suhu furnace pemanas agar lebih stabil dan efisien[17]. 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.

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°C[18][19].

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 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

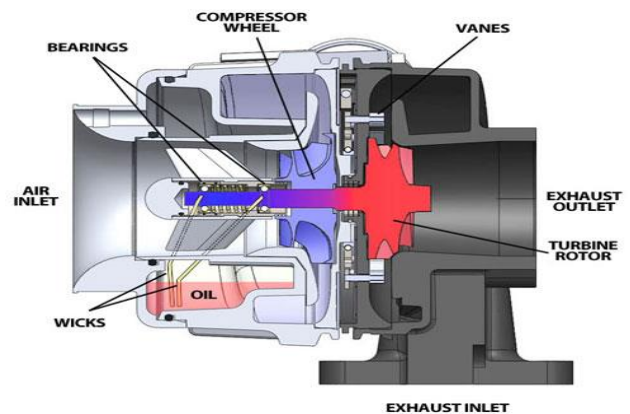
Burner adalah suatu alat yang mensuplai atau mengatur bahan bakar dan udara yang akan dibakar. Salah satu kegunaannya adalah untuk mencampur udara dan bahan bakar untuk menciptakan pembakaran yang baik dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Secara umum bagian burner terbagi menjadi dua bagian yaitu pilot 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 aktuator udara akan membuka secara otomatis. Aliran udara yang dikontrol oleh aktuator 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 pressurenya 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

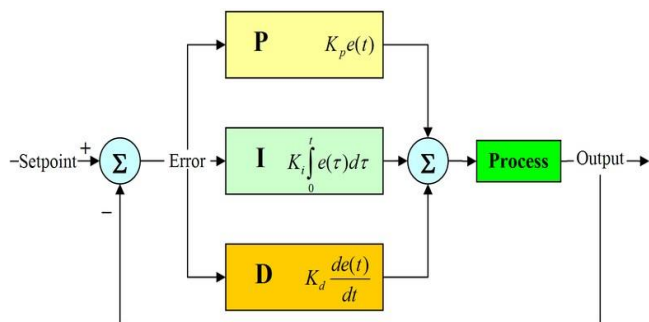
pertama dengan aksi turunan, yang mengurangi masalah overshooting. Namun, baru pada tahun 1942, ketika aturan penyetelan Ziegler dan Nichols diperkenalkan, para insinyur dapat menemukan dan mengatur parameter yang sesuai dari pengontrol PID[20][21][22]. Pada pertengahan 1950-an, pengontrol PID otomatis 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.

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.

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[23][6][24][25][26]. PID blok diagram dapat dilihat pada gambar 6 :



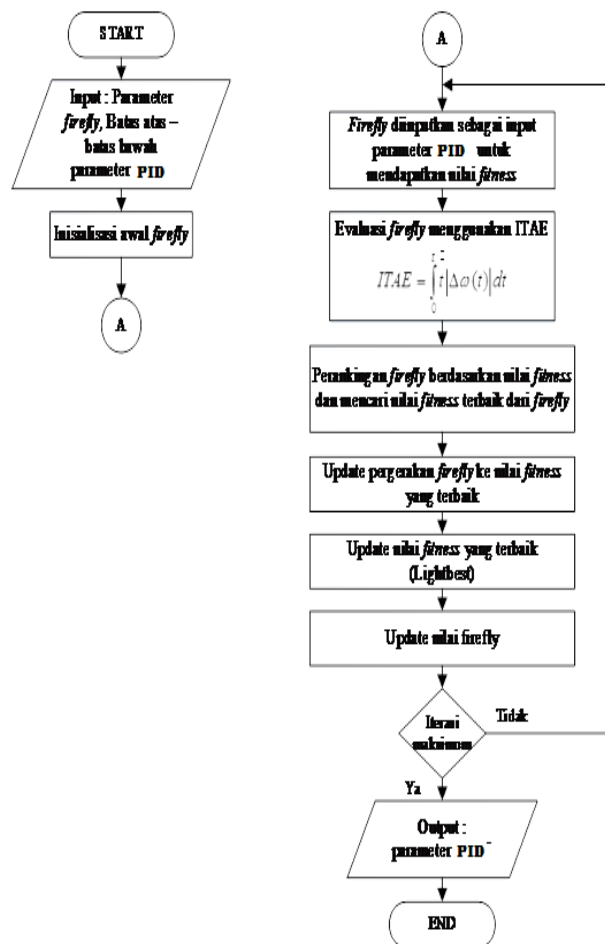
Gambar 6. Digram Blok Pengendali PID

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[27]. 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].

Parameter PID yang ditala oleh FA adalah Kd, Kp, Ki. Adapun untuk diagram alur proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *firefly algorithm* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 7. Dengan melihat diagram alur, akan lebih memudahkan kita untuk mengetahui runtutan-runtutan proses yang perlu dilakukan untuk menyusun suatu sistem.



Gambar 7. Diagram alur algoritma metode Firefly Algorithm (FA)

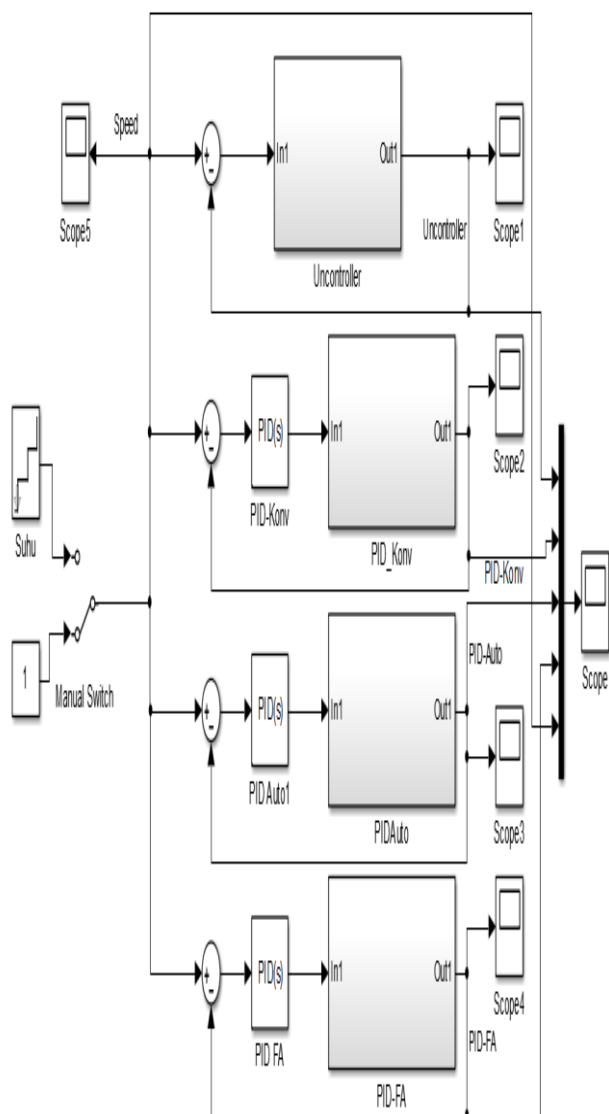
Adapun data parameter-parameter FA yang digunakan ditunjukkan pada table berikut[26].

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

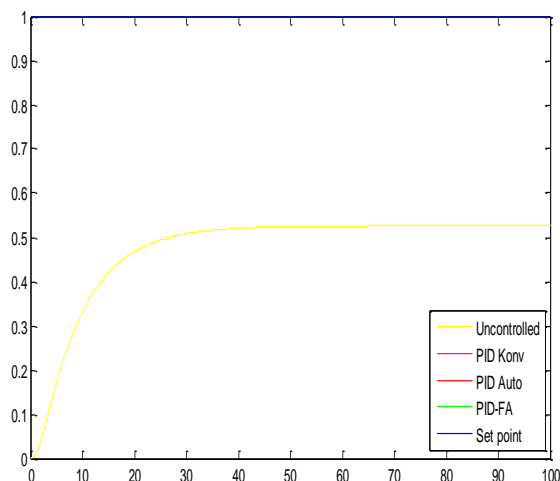
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 8. Desain beberapa controller suhu pada furnace Respon system

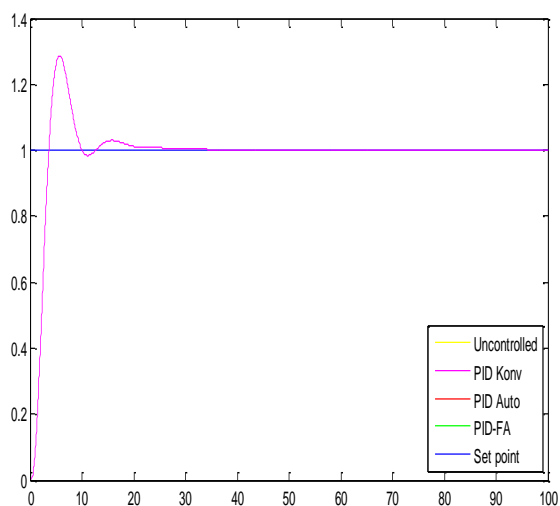
Respon sistem PID konvensional



Gambar 9. 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.

Respon sistem PID konvensional

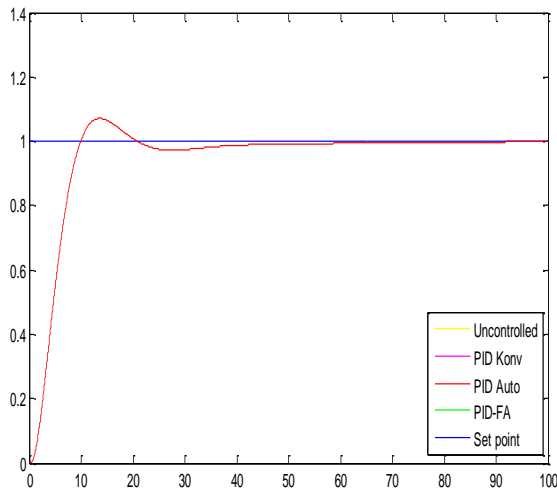


Gambar 10. Respon sistem PID konvensional

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.

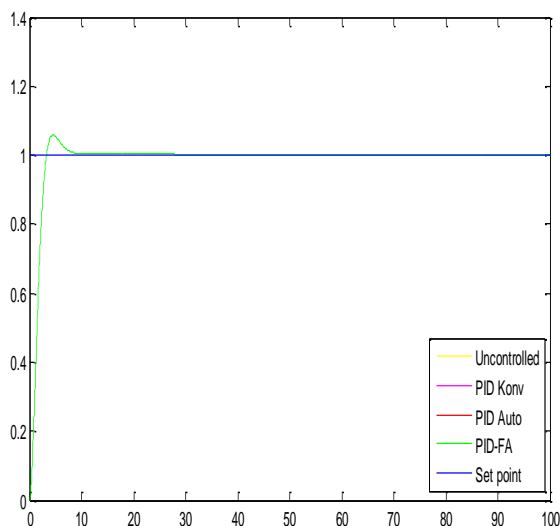
Respon sistem PID Auto tuning



Gambar 11. 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.

Respon PID tuning FA

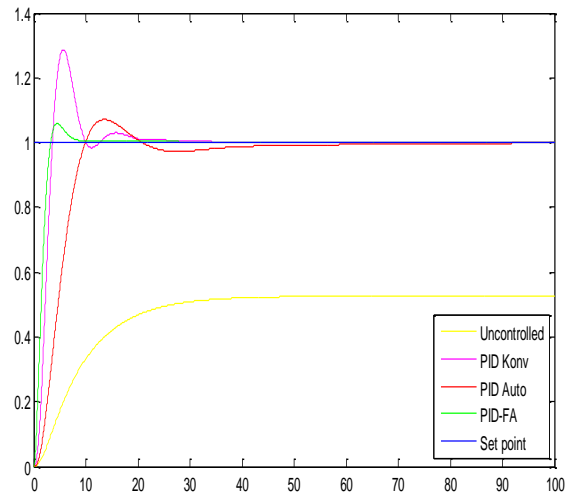


Gambar 12. Respon PID tuning FA

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.

Hasil perbandingan respon

Respon transien/karakteristik kinerja dinamis dihitung dan ditabulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 sebagai berikut :



Gambar 13. Hasil perbandingan untuk semua tanggapan

Dari gambar 13 menunjukkan bahwa pada setiap pergantian tahapan kenaikan suhu terjadi lonjakan suhu. Pada controller 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 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 yang diinginkan sampai pada detik ke 100. 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. 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. Sedangkan pada metode PID-FA dengan nilai konstanta $k_p = 13.1121$, $k_i = 0.3486$, $k_d = 9.6006$ menghasilkan overshoot = 0,0585, undershoot 0, dan settling time pada 32,090detik

V. 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.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] 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)*, IEEE, Oct. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981428.

- [2] 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.
- [3] 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)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 299–304. doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692885.
- [4] M. Ali, H. Nurohmah, and D. Ajiatmo, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial 65 Bus Berbasis Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)," *J. JEETech*, vol. 3, no. 1, pp. 57–61, 2022, doi: 10.32492/jeetech.v3i1.3108.
- [5] M. Ali, M. R. Djalal, H. Nurohmah, and Rukslin, "Intelligent Optimization Using Craziness Particle Swarm on Permanent Magnet Synchronous Motor," in *2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE)*, IEEE, Dec. 2022, pp. 579–583. doi: 10.1109/ISMODE56940.2022.10180931.
- [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 Mikrohdro Berbasis Firefly Algorithm," *J. Tecnoscienza*, vol. 3, no. 1, pp. 65–80, 2018.
- [8] M. Ali, "Optimasi Pemograman Sistem Pengendalian Mesin CNC Pengebor PCB Berdasar Metode Firefly Algorithm," *ALINIEN J.*

- Artif. Intell. Appl.*, vol. 3, no. 2, pp. 28–37, 2022, doi: 10.36040/alinier.v3i2.5840.
- [9] F. Rizal Anas, D. Ajiatmo, H. Nurohmah, and M. Ali, “Desain PID Controller Pada Temperatur Heating Furnace Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA).,” *Nucl. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 70–78, 2022, doi: 10.32492/nucleus.v1i2.1203.
- [10] M. A. Haikal, M. Ali, I. Budi S, and F. H. B. Mohd Noh, “Hybrid Method for Optimization of Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) Rotation using FA-ANFIS,” *Front. Energy Syst. Power Eng.*, vol. 4, no. 2, p. 9, 2022, doi: 10.17977/um049v4i2p09-19.
- [11] M. Ali, A. Raikhani, H. Sopian, and I. Umami, “Optimasi Pengaturan Kecepatan Motor Shunt Berbasis Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” *J. Intake J. Penelit. Ilmu Tek. dan Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 26–31, Apr. 2020, doi: 10.32492/jintake.v9i1.756.
- [12] M. Ali, A. Raikhani, B. Budiman, and H. Sopian, “Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen (Imperialist Competitive Algorithm As PID Optimization and ANFIS Controller at Permanent Magnet Synchronous Machine),” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 3, no. 1, p. 57, Apr. 2019, doi: 10.21070/jeee-u.v3i1.2023.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] T. Amujiati, D. Ajiatmo, M. Ali, and Muhlasin, “Desain Kendali Menggunakan Hybrid PID-BA untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi,” *SinarFe7*, vol. 4, pp. 282–288, 2021, [Online]. Available: <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/114>
- [16] M. Arrohan, 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] M. Hasib Al Isbilly, Markhaban Siswanto, and Machrus Ali, “Optimasi PID Kontroler 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.
- [21] Hidayatul Nurohmah, M. Ali, Rukslin, Dwi Ajiatmo, and Muhammad Agil Haikal, “Komparasi PID, FLC, dan ANFIS sebagai Kontroler Dual Axis Tracking Photovoltaic berbasis Bat Algorithm,” *J. JEETech*, vol. 3, no. 2, pp. 71–77, Sep. 2022, doi: 10.48056/jeetech.v3i2.197.
- [22] 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.
- [23] 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)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICVEE50212.2020.9243229.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.