

Optimasi Thermal Oil Heater Menggunakan PSO Sebagai Tuning PID Controller

¹Enggal Indra Gunawan, ^{2*}Machrus Ali, ³Hidayatul Nurohmah

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

¹enggal.te22@gmail.com, ² machrus7@gmail.com, ³ hidayatul.nurohmah.mt@gmail.com

Abstract

Optimasi Optimization of the auto temperature control system on the thermal oil heater system using PSO as a PID Controller tuning. Making a PSO-based Simulink tuning PID controller for thermal oil heater temperature in the 2013a Matlab program. Thermal oil heater simulation using PSO as a PID Controller tuning is the best result among other design methods. With $k_p = 2,057$, $k_i = 1.337$, $k_d = 0.148$, we get an overshoot value of $= 0.002$, undershoot $= 0$, at a settling time of 4.521 seconds. This shows that the PID-PSO controller is the best method with the smallest overshoot at 0.002, the smallest undershoot at 0, and the fastest settling time at 4.521 seconds.

Keywords — Thermal Oil Heater, PSO, PID Controller.

Abstrak— Optimasi sistem auto kontrol temperature pada sistem thermal oil heater menggunakan PSO sebagai tuning PID Controller. Membuat model simulink tuning PID controller temperatur thermal oil heater berbasis PSO pada program matlab 2013a. Simulasi thermal oil heater menggunakan PSO sebagai tuning PID Controller adalah hasil yang terbaik diantara desain metode lainnya. Dengan $k_p = 2.057$, $k_i = 1.337$, $k_d = 0.148$ mendapatkan nilai overshoot sebesar $= 0.002$, undershoot $= 0$, pada settling time 4.521 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kontroler PID-PSO adalah metode terbaik dengan overshoot terkecil pada 0.002, undershoot terkecil pada 0 dan settling time tercepat pada 4.521 detik.

Kata Kunci — Thermal Oil Heater, PSO, 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[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[2][3][4], kontrol Fuzzy[5], Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)[6][7][8], dan jenis kontroler lainnya. Metode yang telah diteliti dan berhasil dalam optimasi sistem kontrol adalah Particle Swarm Optimization (PSO)[9][10], Firefly Algorithm (FA)[11][12][13], Imperialist Competitive Algorithm (ICA)[10], Bat algorithm (BA)[14][15][16][17], and Ant Colony Optimization (ACO)[18][19]. 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 *Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm* untuk mengontrol temperatur *Thermal Oil Heater* agar lebih stabil dan efisiensi. Hasil performance dari temperatur yang dikontrol menggunakan PID dan dituning dengan PSO Algorithm diharapkan dapat memiliki tingkat efisiensi sebuah sistem dan kestabilan temperatur yang lebih baik sehingga *thermal oil* dapat bekerja dengan temperatur yang di inginkan sesuai set point dan dapat mengurangi konsumsi gas maupun udara yang merupakan sebagai bahan utama dari *Thermal Oil Heater*

II. THERMAL OIL HEATER

Menurut CV. Alpha Omega, 2014: *thermal oil heater* adalah mesin pemanas dengan mempergunakan *Thermal oil fluid* atau oli sebagai media penghantar panas dan dapat bekerja bekerja sampai temperature 300°C atau lebih yaitu dengan jalan memanaskan oli yang berada didalamnya dengan gas-gas pemanas dari hasil pembakaran bahan bakar. Dari pengertian tersebut berarti kita dapat menyimpulkan bahwa *thermal oil*

heater berfungsi sebagai mesin pemanas oli yang bertemperatur tinggi yang dapat digunakan untuk proses / kebutuhan selanjutnya.



Gambar 1. *Thermal oil heater*

Menurut Dewi Kusumawaty, 2019 menulis bahwa: di dalam sistem *Thermal Oil Heater*, oil sebagai media penerima panas ditempatkan di dalam pipa-pipa spiral yang ditempatkan di dalam tungku pemanas yang dirancang sedemikian rupa, kemudian dipanaskan dengan api yang bersumber dari *burner*(pemanas) berbahan bakar tertentu. Untuk *thermal oil heater* berkapasitas kecil cukup menggunakan energi listrik (*electrical heater*) sebagai pemanas, namun untuk skala besar penggunaan energi listrik tidak lagi efisiensi. Oleh karena itu lebih efektif menggunakan gas, solar atau bahan bakar padat (batu bara atau biomassa).

Thermal oil heater adalah sebuah alat atau mesin pemanas oli, dimana oli yang mengalir pada pipa besi membentuk spiral tersebut berada dalam sebuah tungku atau wadah tertutup dan memiliki lubang saluran *exhaust* untuk mengontrol tekanan dan temperature berlebih. Oli di dalam tungku dipanaskan oleh *auto burner* yang bekerja sesuai *setting point temperature* yang telah di *setting*.

Thermal oil heater dibuat untuk menghasilkan panas melalui media *oil fluid*. Ada banyak metode yang digunakan untuk memanaskan oil, salah satunya ialah dengan cara menggunakan pipa spiral. Dimana pipa itu berfungsi untuk jalur sirkulasi oli, mulai dari proses pemanasan di dalam tungku maupun di dalam bak air yang akan dipanaskan. Bak air tersebut merupakan contoh pemanfaatan oli yang sudah dipanaskan oleh *thermal oil heater*.

Ketika *thermal oil heater* beroperasi, terdapat beberapa gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan proses pemanasan terhambat, misalnya penurunan temperature yang disebabkan oleh tahapan *auto burner* yang tidak sesuai program, sehingga menimbulkan alarm *fault*, atau mungkin juga ada beberapa komponen pada system yang rusak. Nah, untuk mengetahui apa penyebab terhambatnya proses pemanasan, kita perlu melakukan pengecekan terlebih dahulu. Sebelum akhirnya nanti kita melakukan tindakan lebih lanjut.

Untuk memaksimalkan fungsi dari *thermal oil heater*, diperlukan adanya operator yang ahli dan mengerti tentang karakteristik mesin. Dan juga untuk melakukan perawatan rutin pada setiap komponennya.

Menurut CV. Alpha Omega, 2014: sebuah *thermal oil heater* harus kuat supaya dapat bekerja selama dibawah tekanan tertentu yang harus dilengkapi dengan pesawat-pesawat atau alat-alat sehingga memungkinkan dapat bekerja dengan aman. Sebuah mesin pemanas harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

- Hemat dalam pemakaian bahan bakar.
- Mendukung sistem control otomatis untuk didapat pengoprasian fleksibel (dapat menyesuaikan naik turunnya beban).
- Kontruksi ringkas dan sederhana agar mudah dalam pengoperasian dan perawatannya.
- Hemat dalam pemakaian bahan bakar.
- Mendukung sistem control otomatis untuk didapat pengoprasian fleksibel (dapat menyesuaikan naik turunnya beban).
- Kontruksi ringkas dan sederhana agar mudah dalam pengoperasian dan perawatannya.
- Jumlah panas yang hilang karena radiasi harus sekecil-kecilnya.
- Dilengkapi peralatan pengaman atau safety device yang memenuhi standar dari dinas pengawasan keselamatan kerja Departemen Tenaga Kerja.

2.1. Fungsi Thermal Oil Heater

Thermal oil heater adalah pesawat bantu yang digunakan untuk memanaskan oli yang memiliki tekanan tinggi dan temperatur tinggi lalu oli tersebut mengalir melalui pipa spiral, dimana pipa spiral tersebut berada pada sebuah ruang tertutup (tungku) berbentuk tabung.

Proses pemanasan oli menjadi oli bertekanan tinggi dan temperatur tinggi yaitu dengan memanaskan bahan bakar yang berada didalam *thermal oil heater* dengan memanfaatkan gas panas dari hasil pembakaran bahan bakar yang dilakukan oleh *burner*. Pemanasan dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar (tungku), dengan memanfaatkan gas yang tersedia dan udara dari luar, sampai temperatur yang sudah disetting oleh operator sesuai kebutuhan tercapai.

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:

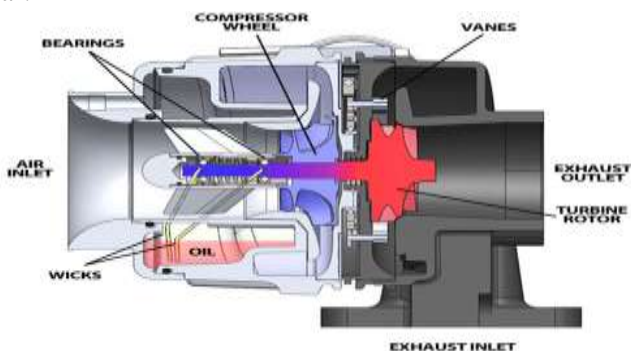
A. Burner

Menurut indonetwork, 2022: *burner* adalah peralatan yang memberi atau mengatur bahan bakar dan udara untuk terbakar. Salah satu kegunaannya adalah untuk melakukan mixing antara udara dan bahan bakar sehingga dihasilkan pembakaran yang bagus dan meningkatkan efisiensi pembakaran.



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. Burner Control Unit (BCU)

Menurut Mitra Boiler, 2022: *Oil Burner Controller* Siemens adalah perangkat control dengan merk Siemens yang bertanggung jawab untuk memulai, mengoperasikan, dan mematikan lebih dari satu burner atau boiler dengan aman. Fungsi utamanya adalah untuk

memantau dan mengontrol pembakar utama, menggunakan pemindai api untuk mendeteksi dan membedakan antara api utama dan penyalu.

Burner Control Unit (BCU) merupakan alat yang digunakan untuk mengoperasikan dan mengontrol *burner*. Adapun fungsi utama dari BCU yaitu memantau dan mengontrol pembakaran menggunakan pemindai api untuk mendeteksi dan membedakan antara api utama dan penyalu.



Gambar 5. Burner Control Unit

C. Pemantik Burner

Menurut Mitra Boiler, 2022: *Iqniton Transformer* adalah Trafo *Burner* pada rangkaian mesin *Burner*, Trafo pengapian menghasilkan percikan api dari pembakar industri. Secara khusus, ketika diberi energi oleh tegangan listrik, mereka menghasilkan energi tinggi pada output. Output transformator, juga didefinisikan sebagai output tegangan tinggi (HV) terhubung langsung ke elektroda pengapian burner, yang memiliki titik terminal di dekat massa logam dan pada titik pemicu api. Pada saat elektroda diberi energi oleh tegangan tinggi, ia melepaskan ke arah massa logam yang menghasilkan busur listrik yang menaikkan suhu udara yang cukup untuk memicu bahan bakar.

Pemantik *Burner* berfungsi untuk memantikkan api, Ketika *auto valve* gas terbuka. Pemantik akan mengeluarkan percikan api atau *flashover* tegangan tinggi yang dihasilkan dari trafo.



Gambar 6. Pemantik burner (Ignition Transformers)



Gambar 7. Servo motor burner

D. Servo Motor Burner

Menurut Mitra Boiler, 2022: Servo Motor Burner adalah Motor servo atau “servo”, seperti yang diketahui, adalah perangkat elektronik dan aktuator putar atau linier yang memutar dan mendorong bagian mesin dengan presisi. Servo terutama digunakan pada posisi sudut atau linier dan untuk kecepatan tertentu, dan percepatan. pada rangkaian Burner Servo motor adalah komponen penting untuk mengatur kecepatan atau dorongan.

Servo motor atau aktuator servo berfungsi sebagai pengatur/mengontrol aliran udara yang masuk untuk pembakaran, semakin besar presentase udara yang masuk, semakin besar pula api yang dihasilkan oleh burner. Udara yang dikontrol oleh aktuator berasal dari udara luar yang disedot oleh motor blower.

Servo motor adalah termasuk bagian penting dalam *thermal oil heater*. Apabila terjadi masalah teknis pada servo, api pada burner akan mati jika servo tidak terbuka secara maksimal. Begitu sebaliknya jika servo membuka terlalu besar, sehingga udara masuk dengan presentase yang besar, maka akan terjadi letupan pada burner.

E. Flame Sensor Burner

Flame sensor detector pada burner adalah sensor pendeteksi api. Berfungsi sebagai pendeteksi ada atau tidaknya api pada burner. Sensor api pada burner biasanya terletak berdekatan dengan pemantik, sehingga ketika api menyala, sensor akan mendeteksi api tersebut. Kemudian akan mengirim sinyal kepada BCU, yang nantinya akan diteruskan sesuai dengan perintah pada program.

Pendeteksi sensor ini berfungsi sebagai syarat yang nantinya digunakan untuk mengatur besar kecilnya api pada pembakaran. Misalnya pembakaran dengan api kecil atau besar, karena aktuator/servo motor akan bekerja apabila sudah terdeteksi api di dalam pembakan tersebut.



Gambar 8. flame sensor burner

F. Thermocouple

Menurut Suprianto, 2015: Termokopel (Thermocouple) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu

melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Efek *Thermo-electric* pada Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan Efek “*Seeback*”.



Gambar 9. Thermocouple

Thermocouple sering digunakan dikalangan industri, karena ketahanannya terhadap temperatur tinggi. Selain memiliki range yang besar terhadap pembacaan suhu, thermocouple juga sangat mudah dalam pemasangannya, yang tahan terhadap guncangan dan memiliki respon yang cepat terhadap perubahan suhu. Thermocouple memiliki rentan suhu yang luas, yaitu kisaran -200°C hingga 2000°C .

G. 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 10. 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,

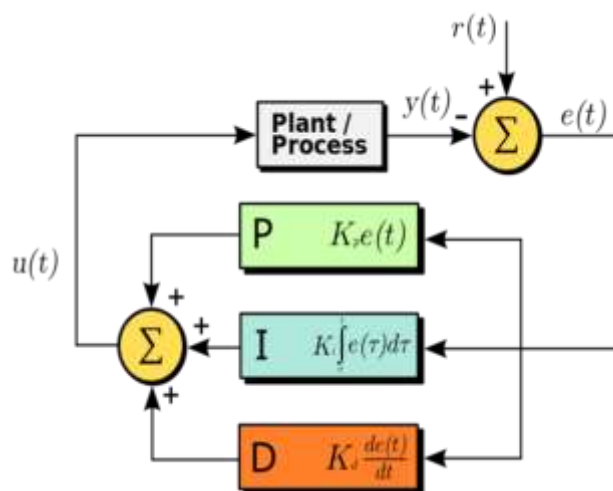
para insinyur dapat menemukan dan mengatur parameter yang sesuai dari pengontrol PID. Pada pertengahan 1950-an, pengontrol PID otomatis diadopsi secara luas untuk penggunaan industri.

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]

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[21].

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. PID blok diagram dapat dilihat pada gambar 11 :



Gambar 11. Digram Blok Pengendali PID

B. Particle Swarm Optimization (PSO)

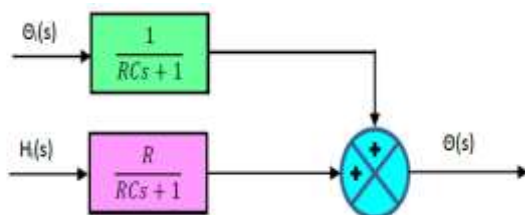
Particle swarm Optimization (PSO) adalah salah satu teknik optimasi dan sejenis teknik komputasi evolusioner yang dikembangkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995. Ini jauh lebih modern daripada metode kecerdasan buatan seperti metode fuzzy yang diperkenalkan pada tahun 1965. Metode ini memiliki sifat yang kuat, baik untuk memecahkan masalah dengan karakteristik nonlinear dan nondifferentiability, banyak optima, dimensi besar melalui adaptasi teori psikologi sosial. PSO terinspirasi dari perilaku pergerakan gerombolan hewan seperti ikan (school of fish), hewan herbivora (herd) dan burung (swarm), kemudian mereduksi setiap objek hewan menjadi sebuah partikel. Sebuah partikel dalam 30 ruang memiliki posisi yang dikodekan sebagai vektor koordinat. Vektor posisi ini dianggap sebagai keadaan yang saat ini ditempati oleh partikel dalam ruang pencarian. Setiap posisi dalam ruang pencarian merupakan alternatif yang dapat dievaluasi dengan menggunakan fungsi tujuan. Setiap partikel bergerak dengan kecepatan (v). Ciri khas dari PSO adalah penyesuaian heuristik dan probabilistik terhadap kecepatan partikel. Jika sebuah partikel memiliki kecepatan yang konstan, maka kita melihat jejak posisi partikel dan akan membentuk garis lurus. Dengan adanya faktor eksternal yang membelokkan jalur yang

kemudian menggerakkan partikel melalui ruang pencarian, maka diharapkan partikel tersebut dapat melaju, mendekat, dan akhirnya mencapai titik optimal. Faktor ekstrinsik yang disebutkan termasuk lokasi terbaik yang pernah dikunjungi partikel, posisi terbaik dari semua partikel (dengan asumsi bahwa setiap partikel mengetahui lokasi terbaik dari yang lain), serta faktor kreatifitas untuk membuat eksplorasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

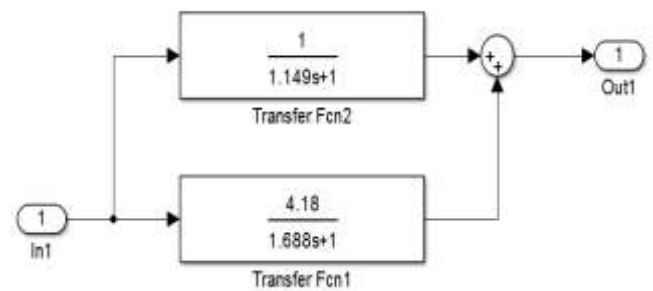
Pemodelan stirrer tank heater yang memanaskan fluida air, methanol dan engine oil dianalisis dengan menurunkan transfer function system dan membuat coding dengan Matlab Simulink. Fluida methanol menjadi fluida kedua yang dipilih pada temperature 30 °C dengan konduktifitas thermal sebesar 0.203 W/m.K. Pada temperature tersebut spesifik heat methanol sebesar 1,47 kJ/kg, sedangkan densitinya sebesar 782 kg/m³. Dengan demikian pada sisi input temperature $\Theta_i = 30$ °C dan terjadi penambahan temberatur θ_i [16]. Fluida engine oil dipilih sebagai fluida ketiga pada temperature 300 K dengan properties density sebesar 884 kg/m³ dan spesifik heat sebesar 1,91 kJ/kg.K, sedangkan untuk thermal conductivity sebesar 0,144 W/m.K [

Diagram block untuk dapat didiskripsikan dalam gambar 12.



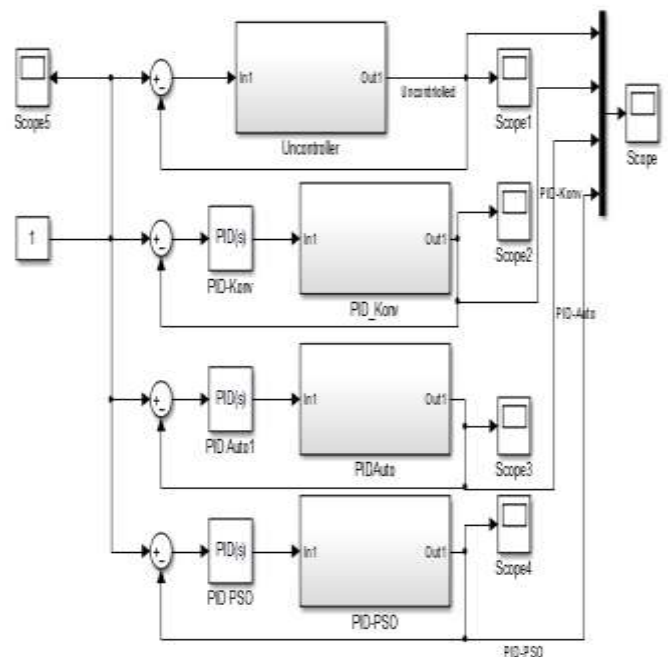
Gambar 12. Diagram Block Sistem thermal Stirred Tank Heater

Sehingga didapatkan Fungsi alih dapat dilihat pada gambar 13:

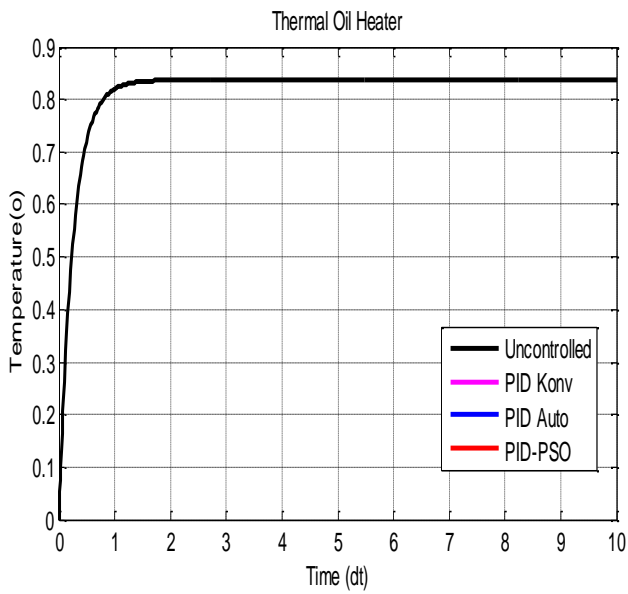


Gambar 13. Transfer function Sistem thermal Stirred Tank Heater.

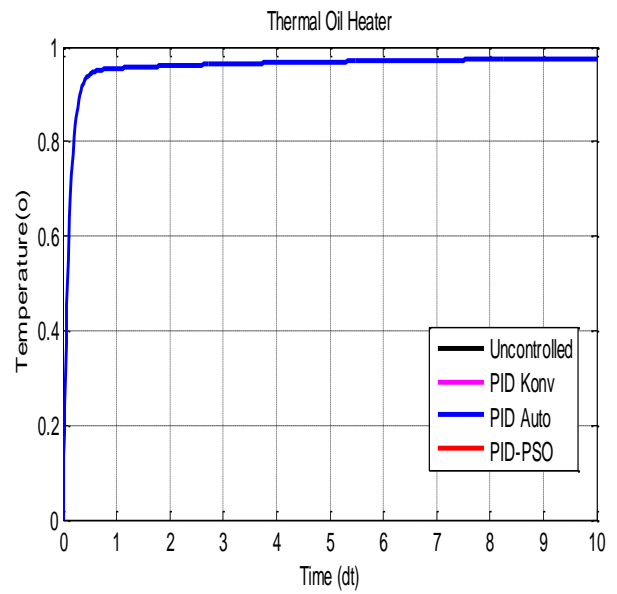
Gambar desain kontrol dapat dilihat pada gambar 14.



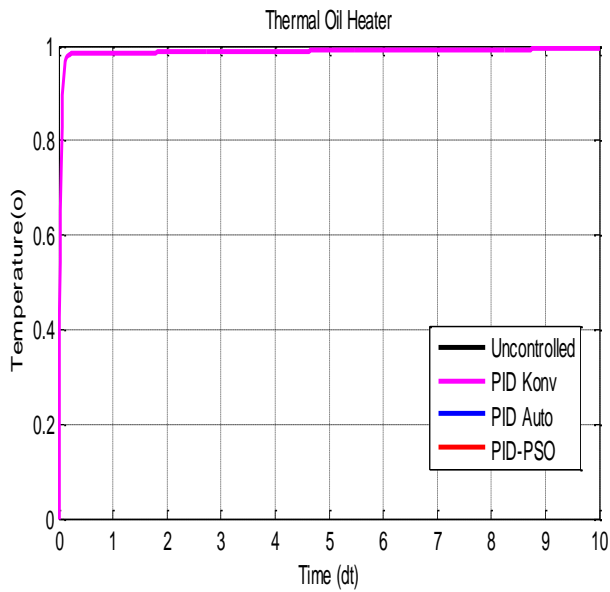
Gambar 14. desain kontrol berbagai metode



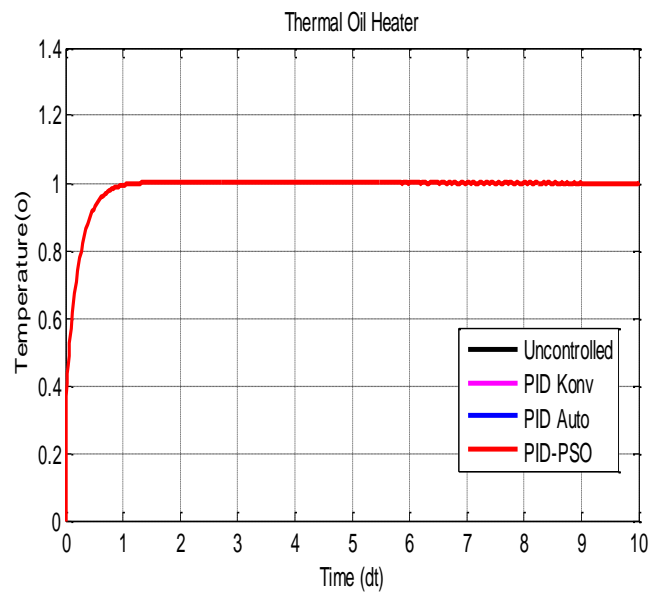
Gambar 15. Respon Tanpa kontroler



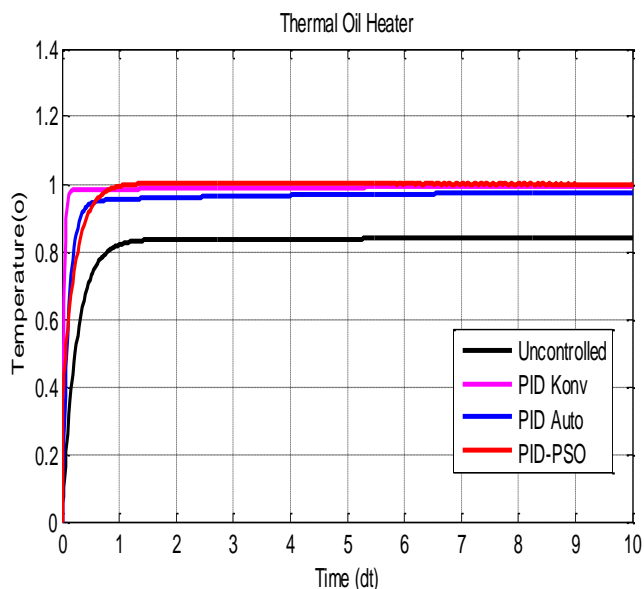
Gambar 17. Respon PID-Auto tuning Matlab



Gambar 16. Respon PID-Konvensional



Gambar 18. Respon PID-PSO Kontroler



Gambar 19. Respon Berbagai Kontroler

Gambar 20.

Tabel 1. Respon masing-masing controller

	Uncon- trol	PID- Konven- sional	PID- Auto	PID- PSO
Kp	-	1	4.287	2.057
Ki	-	1	0.177	1.337
Kd	-	0	-8.125	0.148
Overshot	-	-	-	0.002
Undershot	0.1618	0.016	0.045	0
Settling time	~	77.503	57.748	4.521

Dari Gambar 15 sampai dengan gambar 19 dan dari table 1. menunjukkan bahwa; Desain tanpa kontrol tidak pernah mencapai steady state dengan undershot paling besar = 0.523; desain PID-konvensional pada $k_p = 1$, $k_i = 1$, $k_d = 0$ mendapatkan overshoot terbesar = 0.199 dan undershot = 0.173 dengan settling time = 10.223 detik; pada respon PID Auto tuning matlab pada $k_p = 7.590$, $k_i = 13.014$, $k_d = 0.119$ mendapatkan nilai overshoot = 0.115, undershot = 0.067, settling time pada saat 2.541 detik; respon pada PID-FA dengan $k_p = 11.460$, $k_i = 23.873$, $k_d = 0.493$ mendapatkan nilai overshoot sebesar = 0.048, undershot = 0.014, pada settling time 1.148 detik.

V. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kontroler PID-FA adalah metode terbaik dengan overshoot terkecil pada 0.048, undershot terkecil pada 0.014 dan settling time tercepat pada 1.148 detik. Hasil ini akan digunakan sebagai acuan untuk diterapkan pada kondisi lapangan, dan sebagai pembanding atau acuan pada penelitian selanjutnya.

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] Rukslin and M. Ali, "Desain Pitch Angle dengan Tuning Bat Algorithm (BA) pada Wind Turbine Menggunakan PID Controller," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 40–51, Apr. 2022, doi: 10.21070/jeeeu.v6i1.1624.

[3] 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.

[4] 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.

[5] M. Ali and M. Ulum, "Perbandingan Optimasi Kontroler Putaran Motor Permanent Magnet Synchronous Machine," *J. FORTECH*, vol. 1, no. 1, pp. 12–19, Feb. 2020, doi: 10.32492/fortech.v1i1.218.

[6] 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.
- [7] Machrus Ali, Ruslan Hidayat, and Iwan Cahyono, “Penggunaan ANFIS pada Pengaturan Debit Air Berdasarkan Volume Air Dalam Tangki,” *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–32, Mar. 2020, doi: 10.36040/alinier.v1i1.2519.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] A. Parwanti, S. I. Wahyudi, M. F. Ni’Am, M. Ali, Iswinarti, and M. A. Haikal, “Modified Firefly Algorithm for Optimization of the Water Level in the Tank,” in *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*, Oct. 2021, pp. 113–116. doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9701981.
- [13] Budiman and M. Ali, “Modifikasi Firefly Algorithm Untuk Partial Shading pada Photovoltaic,” *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–27, May 2021, doi: 10.36040/alinier.v2i1.3534.
- [14] Ardi Junianto, Machrus Ali, and Rukslin, “Hybrid Adaptive-Neuro-Fuzzy-Inference-System – Bat-Algorithms (ANFIS-BA) Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi,” *J. Intake J. Penelit. Ilmu Tek. dan Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, Apr. 2021, doi: 10.48056/jintake.v12i1.176.
- [15] 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.
- [16] Y. G. Hartlambang, H. Nurohmah, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm),” in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 1–8. [Online]. Available: http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM_2017_paper_2.pdf
- [17] Y. G. Hartlambang, H. Nurohmah, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm),” *Semant. 2017, Univ. Madura*, no. 1, pp. 1–8, 2017, [Online]. Available: http://semantikom.unira.ac.id/2017/SEMANTIKOM_2017_paper_2.pdf
- [18] M. Ali, R. Rukslin, and C. Hasyim, “Hybrid System of Dual Axis Photovoltaic Tracking System Using Pid-Ces-Aco,” *JEEMECS (Journal Electr. ...)*, vol. 4, no. 2, pp. 59–68, 2021.
- [19] M. Ali and H. Sucipto, “Ant Colony Optimization Algorithm Implementation for

- Distribution of Natural Disaster Relief Logistics in Jombang Regency Web Base,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 704, no. 1, p. 12008, Mar. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/704/1/012008.
- [20] 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.
- [21] Kadaryono, Rukslin, M. Ali, Askan, A. Parwati, 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.