Perbandingan Metode Tuning PID pada Pengaturan Suhu pada Inkubator

Yoga Alif Kurnia Utama[1], Erwin Dhaniswara[2], Leonardus Setia Budi Wibowo[3]

Universitas Widya Kartika[1,2]
Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi[3]
e-mail: yoga.alif@widyakartika.ac.id[1], erwin.dhaniswara@gmail.com[2], leon004@brin.go.id[3]

ABSTRACT

One of the challenges in temperature control is the instability of outdoor temperatures, affecting the room's temperature stability. This is a problem for systems that require a high level of temperature precision, such as baby incubators, ovens and others. This study will create a control to overcome this, namely PID Disturbance Observer (PID-DOB). This study will compare between conventional PID control and PID-DOB. The value of the PID constant will be calculated using Simulated Annealing (SA), Differential Evaluation (DE), and Bat Algorithm (BA). The three methods will be tested on an incubator system with a fixed set point value of 36.5^o through simulations in MATLAB 2014a, with Integral Time Absolute Error (ITAE) assessment criteria. The results showed that PID-DOB by tuning using DE produced a very small ITAE value; when there was no disturbance, temperature drop disturbance and sinusoidal disorder, the ITAE value was 0.0459, 0.0917, and 0.0566. This shows that PID-DOB controls effectively control the temperature inside the incubator and maintain that temperature from outside interference.

Keywords: *Incubator, Metaheuristic, Temperature, Tuning PID*

ABSTRAK

Salah satu tantangan dalam pengendalian suhu adalah ketidakstabilan suhu luar ruangan yang akan mempengaruhi ketidakstabilan suhu di dalam ruangan. Hal ini menjadi masalah untuk sistem yang memerlukan tingkat kepresisian suhu tinggi seperti inkubator bayi, oven dan lain-lain. Penelitian ini akan membuat sebuah kontrol untuk mengatasi hal tersebut yaitu PID Disturbance Observer (PID-DOB). Penelitian ini akan membandingkan antara kontrol PID konvensional dan PID-DOB. Nilai konstanta PID akan dihitung menggunakan *Simulated Annealing*(SA), *Differential Evaluation* (DE), dan *Bat Algorithm* (BA). Ketiga metode tersebut akan diuji pada sistem inkubator dengan nilai *set point* yang tetap yaitu sebesar 36.5^o melalui simulasi di MATLAB 2014a, dengan kriteria penilaian *Integral Time Absolute Error* (ITAE). Hasil menunjukkan bahwa PID-DOB dengan *tuning* menggunakan DE menghasilkan nilai ITAE yang kecil sekali dimana saat tidak terjadi gangguan, gangguan penurunan suhu dan gangguan sinusoidal, nilai ITAE adalah 0.0459, 0.0917, dan 0.0566. Hal ini menunjukan bahwa PID-DOB kontrol yang efektif dalam mengendalikan suhu di dalam inkubator dan mempertahankan suhu tersebut dari gangguan luar.

Kata kunci:, Inkubator, Metaheuritik, Suhu, Tuning PID

PENDAHULUAN

Dalam pengendalian suhu, terdapat beberapa gangguan yang sering dialami suatu sistem yaitu ketidakstabilan suhu akibat perpindahan panas. Hal ini dikarenakan, temperatur di dalam sebuah ruangan akan cenderung dipengaruhi dengan oleh temperatur di luar ruangan tersebut. Jika suhu luar ruangan lebih rendah daripada suhu dalam ruangan, maka suhu dalam ruangan akan cenderung lebih rendah, dan sebaliknya. Fenomena ini terjadi karena prinsip dasar perpindahan panas, yaitu panas selalu mengalir dari objek yang lebih panas ke objek yang lebih dingin. Ketika

suhu luar ruangan lebih rendah dari suhu dalam ruangan, panas yang ada dalam ruangan akan bergerak keluar. Jenis perpindahan panas ini dapat digolongkan ke dalam dua jenis, yaitu konveksi dan konduksi. Karena itu, jika suhu luar ruangan tidak stabil, ini dapat menyebabkan fluktuasi suhu dalam ruangan. Bagi sistem pemanas ruangan yang harus mempertahankan suhu ruangan dengan presisi, seperti inkubator bayi [1][2] dan lain-lain, situasi ini menjadi masalah yang signifikan. Alat seperti inkubator bayi malah 2 parameter yang harus diatur presisi yaitu suhu [3] dan kelembaban udara [4]. Suhu luar ruangan menjadi gangguan dalam sistem pemanas tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang efektif untuk mengatasi gangguan tersebut.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengendalian suhu adalah pengontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) [5][6]. PID telah terbukti efektif dalam mengendalikan berbagai jenis sistem, termasuk inkubator [7][8]. Beberapa penelitian, PID malah digabungkan dengan Disturbance Observer (DOB) yang terbukti dapat mengatasi gangguan-gangguan yang datang dari luar sistem [9][10][11]. Namun, karena kontrol PID bekerja dengan tiga buah konstanta maka dalam prakteknya ketiga konstanta ini harus diset (tuning) agar dapat mengontrol sebuah sistem dengan baik. Seiring dengan kemajuan teknologi dan penelitian dalam bidang pengendalian otomatis, berbagai metode tuning PID yang berbeda telah dikembangkan. Metode-metode ini termasuk pendekatan klasik seperti metode Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon, serta pendekatan otomatisasi yang lebih modern menggunakan algoritma-evolusi dan kecerdasan buatan. Namun, pertanyaan yang muncul adalah metode tuning PID mana yang paling sesuai dan efisien untuk pengaturan suhu pada inkubator.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki, membandingkan, dan mengidentifikasi metode tuning PID yang paling efektif dalam mengendalikan suhu inkubator. Metode tuning yang akan dipakai pada penelitian ini adalah algoritma metaheuristic. Hal ini dikarenakan algoritma metaheuristic diperlihatkan dapat menjadi salah satu metode untuk meminimalisir sebuah fungsi objektif, yang mana dalam kasus ini fungsi objektif tersebut adalah nilai eror dalam bentuk integral time absolute error (ITAE)[12]. Penelitian ini akan mencoba 3 algoritma metaheuritik yang berbeda yakni *Simulated Annealing*(SA), *Differential Evaluation* (DE), dan *Bat Algorithm* (BA). Penelitian yang menggabungkan antara PID dan Disturbance Observer dengan Tuning Algoritma Metaheuristik belum pernah dilakukan sebelumnya. Sehingga ini merupakan hal yang baru di dalam pengaturan suhu. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini akan membantu meningkatkan efisiensi operasional, ketepatan pengendalian suhu, dan kehandalan inkubator dalam berbagai lingkungan dan aplikasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Inkubator

Dalam inkubator, terdapat tiga komponen utama, yaitu pemanas, sensor suhu, dan ruangan. Ada 4 variabel yang saling berhubungan pada sistem inkubator yaitu suhu lingkungan (T_{out}), suhu ruangan (T_{room}), energi kalor dari pemanas ke ruangan (Q_{gain}), energi kalor dari ruangan ke lingkungan (Q_{loss}) [13]. Apabila pemanas dihidupkan hingga mencapai suhu tertentu yang disebut T_{heater} dan suhu awal di dalam ruangan adalah T_{room}, maka kita dapat menghitung jumlah energi termal yang mengalir ke dalam ruangan melalui konveksi (Q_{gain}) dengan menggunakan persamaan (1).

$$\frac{Q_{gain}}{d_t} = \dot{M}_{heater} c_{air} (T_h - T_r) \quad \text{..... (1)}$$

dimana:

Q_{gain} = Energi kalor dari pemanas ke ruangan (J)
M_{heater} = massa udara total (Kg)
c_{air} = kapasitas panas udara (J/kg ^oC)

T_h = suhu pemanas (°C)
T_r = suhu ruangan (°C)

Jumlah energi termal yang telah diterima oleh ruangan dari pemanas akan mengalami penurunan seiring dengan hilangnya energi termal, yang terjadi melalui konduksi melalui dinding atau jendela ruangan tersebut. Besarnya energi termal yang hilang ini dijelaskan dalam persamaan (2).

$$\frac{Q_{loss}}{dt} = \frac{kA(T_r - T_{out})}{D} \quad \text{..... (2)}$$

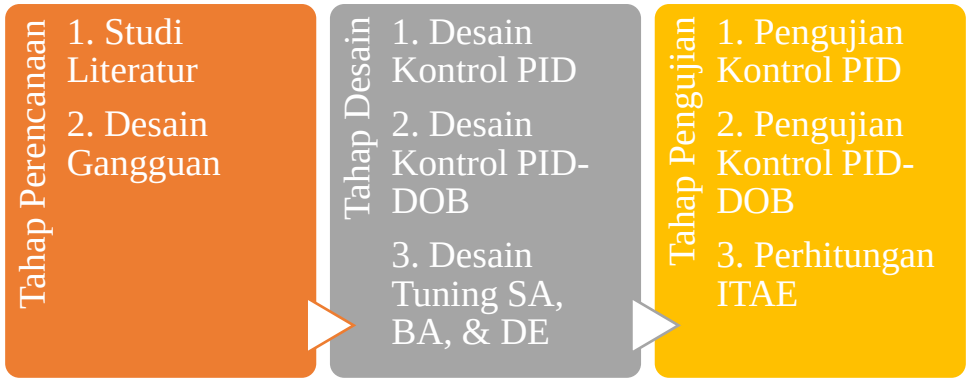
dimana:
Q_{loss} = Energi termal yang hilang (Q_{loss}).
k = koefisien konduktivitas termal (W/m °C)
A = luas penampang (m^2)
D = tebal dinding (m)
T_r = suhu pemanas (°C)
T_{out} = suhu luar ruangan (°C)

Dalam mengukur laju perubahan suhu di dalam ruangan, kita mengurangkan energi termal yang ditransfer dari pemanas ke ruangan dengan energi termal yang hilang dari ruangan ke lingkungan. Rumus untuk laju perubahan suhu ruangan dijelaskan dalam persamaan (3).

$$\frac{dT_r}{dt} = \frac{1}{m_{room\ air} c_{air}} \left(\frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_{loss}}{dt} \right) \quad \text{..... (3)}$$

METODE

Hasil penelitian ini akan membuat sebuah metode kendali suhu inkubator menggunakan 2 buah kontrol yaitu kontrol PID dan kontrol PID-DOB. Kedua kontrol ini akan tuning menggunakan 3 buah algoritma metaheuritik yaitu SA, DE, dan BA. Dalam melakukan penelitian ini, diperlukan serangkaian tahapan tertentu. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. 3 tahapan. Tahapan-tahapan tersebut akan dijabarkan sebagai berikut:

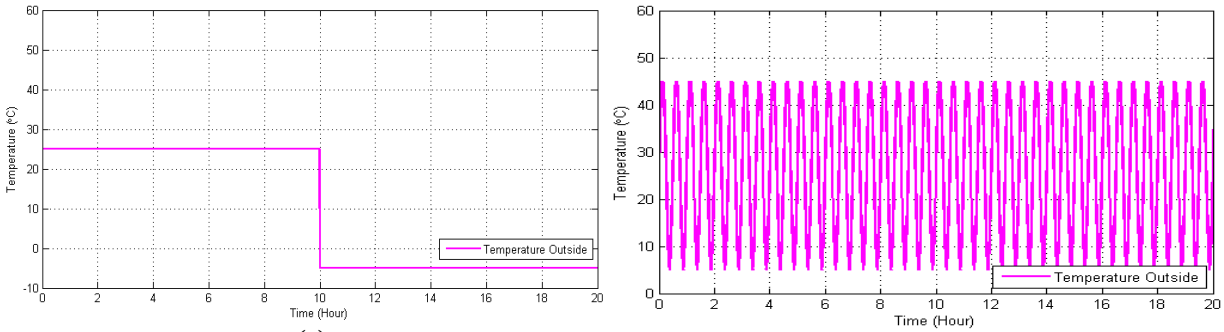


Gambar 1. Tahapan Penelitian

1. Tahap Perencanaan
   Pada tahap perencanaan, hal pertama yang dilakukan adalah studi literatur. Studi literatur ini meliputi studi mengenai model matematis sistem pemanas ruangan, PID *controller*, dan metode *disturbance observer*. Model matematis inkubator yang sudah dipelajari, akan diimplementasikan ke Simulink MATLAB 2014a menjadi sebuah simulasi inkubator.

   Kemudian untuk melakukan pengujian performa kontrol, diperlukan suatu gangguan. Gangguan tersebut berupa variasi suhu udara luar. Suhu udara luar akan dibuat 2 variasi. Variasi tersebut antara lain:

   Variasi I : Suhu udara luar dibuat sebesar 25ºC selama 10 jam pertama, kemudian temperatur diturunkan menjadi -5ºC selama 10 jam kedua. Variasi I ini dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



(a) (b)

Gambar 2. Variasi I (a) dan Varisi II (b)

   a. Variasi II: Suhu dibuat naik sebesar 45ºC dan turun sebesar 5ºC. Perubahan naik dan turunnya suhu udara luar ini membentuk sinusoidal dengan periode perubahan suhu sebesar 0.5 jam. Variasi II ini dapat diliahat pada Gambar 6 dibawah ini.

2. Tahap Desain
   Pada tahap desain, penelitian akan mulai mendesain kontrol PID dan PID-DOB. Pertama, penelitian ini akan merancang sistem kontrol PID pada operasi normal dimana suhu luar tidak berubah yaitu tetap pada suhu 25ºC. *Set point* akan dibuat sebesar 36.5ºC. Setelah *output temperature* sudah sama dengan *set point* maka tahap selanjutnya adalah mendesain metode DOB. Pembuatan metode DOB ini melalui 2 tahap, yaitu pembuatan *invers model* inkubator dan pembuatan *low pass filter*. Pembuatan *invers model* inkubator dan *low pass filter* (LPF) akan dicari secara matematis yang kemudian diimplementasikan ke dalam Simulink MATLAB2014a.
3. Tahap Pengujian
   Pada tahap pengujian dan analisis, sistem kontrol akan diuji dengan menggunakan 2 variasi suhu udara luar seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Ada 2 sistem kontrol yang diuji, yaitu kontrol PID dan kontrol PID-DOB. Masing-masing dari kontrol tersebut akan dibandingkan secara kualitatif dengan melihat respon sistem dan secara kuantitatif dengan melihat indeks kinerjanya. Indeks kinerja yang akan dibuat tolak ukur menggunakan kriteria ITAE. Makin kecil nilai ITAE maka akan semakin baik kinerja dari sebuah kontrol.

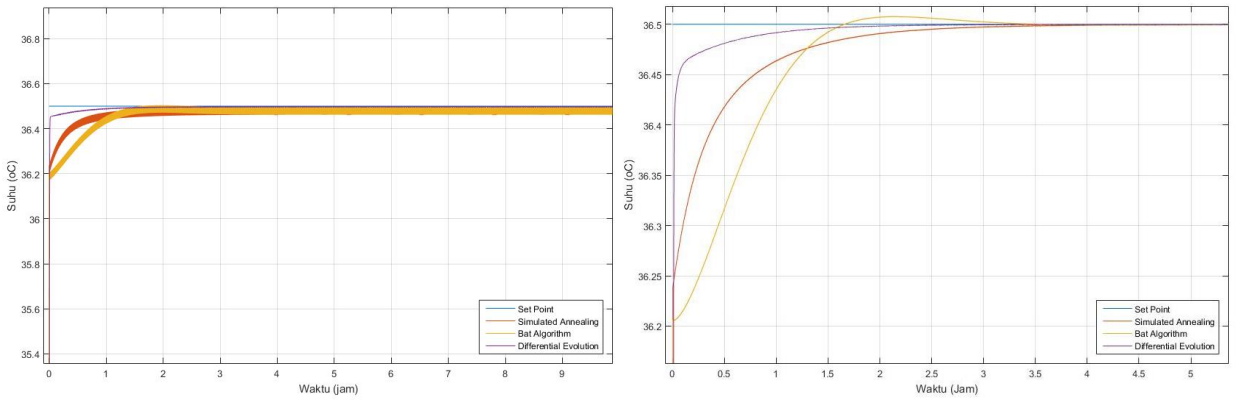
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, hal pertama yang harus dilakukan adalah proses tuning konstanta PID. Tuning PID dilakukan dengan metode metaheuristic menggunakan DE, SA, dan BA. Tuning PID ini dilakukan tanpa adanya gangguan pada sistem. Ketiga algoritma tersebut=dijalankan untuk menentukan parameter Kp, Ki, dan Kd yang optimal guna mengatur suhu sebesar 36.5^{o}C dimana fungsi objektifnya adalah meminimalisir ITAE. Dari ketiga set parameter Kp, Ki, Kd ini, dapat dilihat dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Tuning PID

Algoritma	Kp	Ki	Kd
BA	198.9	288.9	60.7
SA	413.8	443.5	67.6
DE	297.9	500	0.1

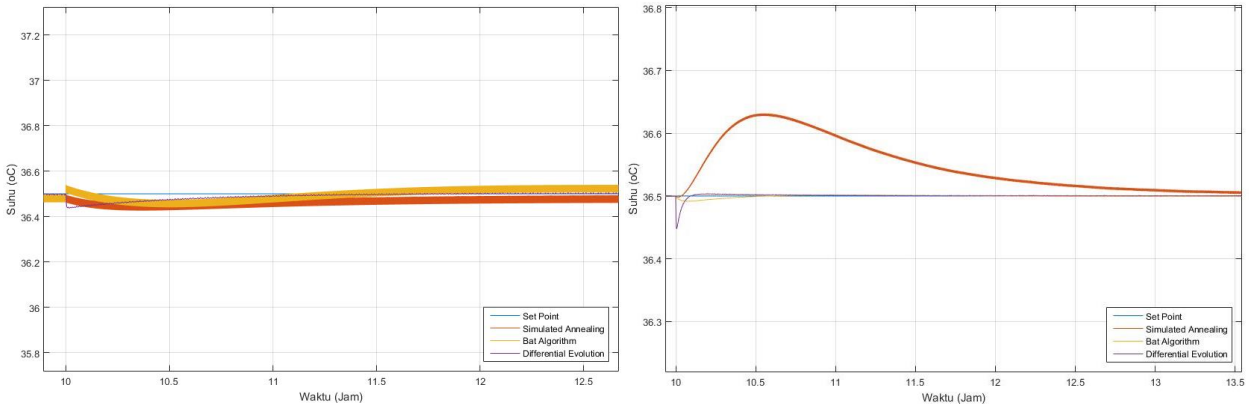
Nilai ketiga konstanta tersebut akan dimasukkan ke dalam simulasi. Respon sistem yang dihasilkan oleh simulasi ini, memiliki 4 grafik pada tiap gambar. Grafik tersebut adalah grafik referensi, respon sistem yang menggunakan kontroler PID dan PID-DOB untuk Tuning PID menggunakan BA, SA, dan DE. Pengujian pertama adalah pengujian kontrol tanpa adanya gangguan. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 3(a) dan 3(b). Gambar 3(a) merupakan respon sistem ketika diberikan kontrol PID tanpa gangguan dengan Tuning BA, SA, DE. Dapat terlihat secara grafik bahwa repon PID yang dituning menggunakan DE terlihat jauh lebih baik daripada metode yang lain. Tuning menggunakan BA, dan SA, menghasilkan eror yang lebih besar, dan respon yang tidak stabil. Ketika respon ini ditambah dengan DOB maka hasilnya seperti pada Gambar 3(b).



(a) (b)

Gambar 3. Respon Pengujian I untuk PID (a) & PID-DOB (b)

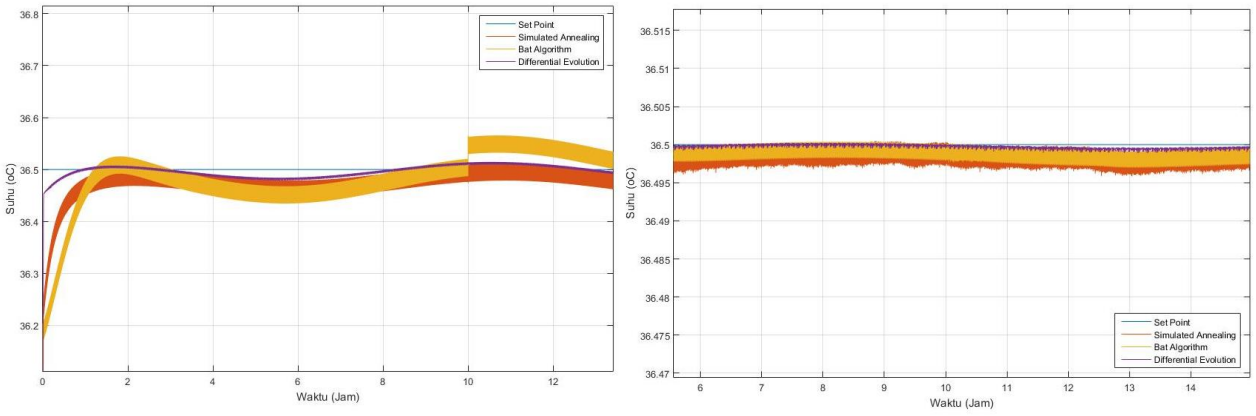
Pada Gambar 3(b) terlihat bahwa ketidakstabilan pada tuning PID menggunakan BA dan SA telah hilang karena DOB. Walaupun begitu, tetap secara respon tuning PID jauh lebih baik menggunakan DE daripada metode lainnya. Selanjutnya, akan diuji coba menggunakan Gangguan 1. Hasil dari respon PID pada Gangguan I seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(a) di bawah ini.



(a) (b)

Gambar 4. Respon Pengujian II untuk PID (a) & PID-DOB (b)

Gangguan 1 terjadi ketika pada jam ke-10 yakni terjadi penurunan suhu di luar ruangan. Respon sistem yang dituning menggunakan DE tetap mengalami penurunan juga. Lain halnya pada respon yang di-tuning menggunakan SA, dan BA, justru repon mengalami kenaikan. Terjadinya perbedaan ini akan membuat kontrol memaksa respon kembali ke set point. Respon yang dituning menggunakan BA dan SA juga cenderung tidak stabil. Pada Gambar 4(b), penambahan DOB pada PID dapat mengatasi hal ini. Penurunan tetap terjadi pada tuning PID menggunakan DE tetapi respon cenderung lebih cepat kembali ke set point daripada menggunakan metode lain. Paling lama respon kembali ke set point terjadi pada PID yang dituning menggunakan SA.



(a) (b)

Gambar 5. Respon Pengujian III untuk PID (a) & PID-DOB (b)

Respon PID dengan gangguan II dapat dilihat pada Gambar 5(a) dan 5(b) di bawah ini. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa respon mengalami perubahan menjadi bentuk sinusoidal juga. Tetapi ketiga respon tersebut memiliki amplitude yang berbeda-beda. Amplitudo paling kecil yaitu respon yang dituning menggunakan DE. Respon yang dituning menggunakan SA, dan BA menghasilkan grafik yang tidak stabil. Amplitudo ini akan semakin kecil ketika kita masukkan DOB ke sistem ini. Hasil respon ini dapat dilihat pada Gambar 5(a) di bawah ini.

Itulah hasil analisis respon jika melihat dari grafik atau secara kualitatif. Jika melihat berdasarkan hasil ITAE maka hasil perhitungan sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil ITAE

Gangguan	Algoritma	PID	PID-DOB
Tanpa Gangguan	SA	1.9156	0.1232
	BA	1.9080	0.1521
	DE	0.3037	0.0459
Gangguan I	SA	2.3933	2.0594
	BA	2.0885	0.1813
	DE	0.5773	0.0917
Gangguan II	SA	2.0465	0.3812
	BA	2.8791	0.3148
	DE	1.0537	0.0566

Dapat dilihat bahwa respon yang memiliki nilai ITAE paling kecil untuk ketiga jenis gangguan adalah respon yang dituning menggunakan metode algoritma DE. Sedangkan kontrol PID-DOB dapat menurunkan nlai ITAE dengan sangat signifikan menjadi lebih kecil daripada kontrol PID.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, dua kontroler telah dikembangkan, yakni kontroler PID dan kontroler PID-DOB, untuk mengelola suhu di dalam inkubator. Pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan berupa perubahan suhu udara luar, yang menyebabkan perpindahan panas melalui konduksi, yang menjadi sumber gangguan pada sistem ini. Tuning PID dilakukan dengan menggunakan 3 metode yaitu BA, SA, dan DE. Hasil menunjukkan bahwa PID-DOB dengan tuning menggunakan DE menghasilkan nilai ITAE yang kecil sekali dimana saat tidak terjadi gangguan, gangguan penurunan suhu dan gangguan sinusoidal, nilai ITAE adalah 0.0459, 0.0917, dan 0.0566. Ini menunjukkan bahwa kontroler PID-DOB yang dituning dengan menggunakan DE adalah yang paling efektif dalam mengatur suhu udara di dalam inkubator dan mampu menjaga suhu tersebut tetap stabil meskipun terdapat fluktuasi suhu udara luar yang berubah-ubah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama kami ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendukung pendanaan penelitian ini. Selain itu, kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Widya Kartika atas fasilitas dan dukungan yang diberikan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Lapono LAS. Sistem Pengontrolan Suhu dan Kelembapan Pada Inkubator Bayi. Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya. 2016;1(1):12–7.
[2] Mittal H, Mathew L, Gupta A. Design and Development of an Infant Incubator for Controlling Multiple Parameters. International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics. 2015;11(5):65–72.
[3] Utama YAK. Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu dengan Menggunakan Arduino Pro Mini. Jurnal E- NARODROID. 2016;2(2):145–50.
[4] Utama YAK, Widianto Y, Sardjono TA, Kusuma H. Perbandingan Kualitas Antar Sensor Kelembapan Udara dengan Menggunakan Arduino Uno. Dalam Semarang; 2019.
[5] Utami NR, Handayani IP, Iskandar RF. Kontrol Suhu dan Analisis Transfer Panas Konveksi Pada Central Processing Unit (CPU). Jurnal E-Proceeding of Engineering. 2017;4(1):726–35.
[6] Hidayat N, Iskandar RF, Rokhmat M. Temperature Control Personal Computer Using Liquid Cooling System Based PID Control. Dalam Bandung; 2015.
[7] Nurcahya B, Widhiada IW, Subagia IDGA. Sistem Kontrol Kestabilan Suhu pada Inkubator Bayi Berbasis dengan MATLAB/SIMULINK. Jurnal METTEK. 2016;2(1):35–42.
[8] Juhanis J. Perancangan Simulasi Sistem Pengontrolan Suhu di Dalam Ruang Inkubator Bayi Berbasis Mikrokontroller. Jurnal Teknosains. 2020;9(2):197–204.
[9] Utama YAK. Design of PID Disturbance Observer with Neuro Fuzzy Inverse Model for Precise Temperature Control in Infant Incubator. Dalam Yogyakarta; 2020. hlm. 179–84.
[10] Utama YAK. Design of PID Disturbance Observer for Temperature Control on Room Heating System. Dalam Yogyakarta; 2017.
[11] Has Z, Muslim AH, Mardiyah NA. Adaptive-Fuzzy-PID Controller Based Disturbance Observer for DC Motor Speed Control. Dalam Yogyakarta; 2017.
[12] Utama YAK. Hidayat D.T. Desain Metode PID-Simulated Annealing Sebagai Kontrol Temperatur Pada Inkubator Bayi. Jurnal JE-UNISLA. 2020; 5(1):341-347.
[13] Mathworks. (2012). Model A Dynamic System. Diperoleh 10 Februari 2017, dari https://www.mathworks.com/help/simulink/gs/define-system.html