

## DESAIN TUNING PID MENGGUNAKAN DIFFERENTIAL EVOLUTION (DE) UNTUK SISTEM PENGATURAN SUHU PADA INKUBATOR

Yoga Alif Kurnia Utama<sup>1</sup>, Erwin Dhaniswara<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro<sup>1</sup>, Fakultas Teknik<sup>2</sup> (Universitas Widya Kartika)  
yoga.alif@widyakartika.ac.id<sup>1</sup>, erwin.dhaniswara@gmail.com<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*The temperature in the room is very dependent on the temperature outside the room. If the temperature outside is unstable, the impact will be reflected on the temperature instability in the room. This creates challenges in controlling room temperature that require a level of consistency, such as in a baby incubator machine, oven, or egg hatcher. Thus, a temperature regulation strategy is needed to overcome disturbances arising from external temperature fluctuations. This research proposes a solution through the use of innovative control methods, namely by making conventional PID control and PID Disturbance Observer. The value of the PID constant will use the Differential Evaluation (DE) method. Both will be tested on an incubator system through simulations at MATLAB2014a with performance index criteria in the form of ITAE. Interference will be introduced into the system by magnifying the temperature difference between inside and outside the incubator so that heat transfer occurs which will affect the temperature inside the incubator. The results showed that the ITAE value of the Disturbance Observer PID control was 0.035, while the ITAE of conventional PID control was 0.242. This shows that the PID Disturbance Observer control is an effective control in controlling the temperature inside the incubator and maintaining that temperature from outside interference.*

**Keywords** Differential Evolution (DE), Incubator, PID, Temperature, Tuning

### INTISARI

Suhu di dalam ruangan sangat bergantung pada suhu di luar ruangan. Jika suhu di luar tidak stabil, dampaknya akan tercermin pada ketidakstabilan suhu di dalam ruangan. Hal ini menciptakan tantangan dalam mengendalikan suhu ruangan yang memerlukan tingkat konsistensi, seperti pada mesin inkubator bayi, oven, atau alat tetas telur. Maka, strategi pengaturan suhu diperlukan untuk mengatasi gangguan yang timbul akibat fluktuasi suhu eksternal. Penelitian ini mengusulkan solusi melalui penggunaan metode kontrol inovatif, yaitu dengan pembuatan kontrol PID konvensional dan PID Disturbance Observer. Nilai konstanta PID akan dihitung menggunakan metode Differential Evaluation (DE). Keduanya akan diuji coba pada sistem inkubator melalui simulasi di MATLAB2014a dengan kriteria indeks performansinya berupa ITAE. Gangguan akan dimasukkan ke dalam sistem tersebut dengan cara memperbesar perbedaan suhu antara di dalam dan diluar inkubator sehingga terjadi perpindahan panas yang akan mempengaruhi suhu di dalam inkubator. Hasil menunjukkan bahwa nilai rata-rata ITAE kontrol PID Disturbance Observer berupa 0.035, sedangkan ITAE kontrol PID konvensional sebesar 0.242. Ini menunjukkan bahwa kontrol PID Disturbance Observer merupakan kontrol yang efektif dalam mengendalikan suhu di dalam inkubator dan mempertahankan suhu tersebut dari gangguan luar.

Kata kunci: Differential Evolution (DE), Inkubator, PID, Suhu, Tuning

### I. PENDAHULUAN

Salah satu indikator yang menunjukkan tingkat kesehatan di suatu masyarakat adalah Angka Kematian Bayi (AKB)[7]. Indonesia masih menempati peringkat kelima AKB tertinggi di ASEAN pada tahun 2021[1]. Bayi

yang meninggal sebagian besar merupakan bayi neonatal yang rentang usianya dari 0-28 hari yang mana jumlahnya sebanyak 20.266 bayi [2][3]. Jumlah tersebut merupakan 71.97% dari jumlah total bayi yang meninggal pada tahun

2020. Faktor paling banyak yang menyebabkan tingginya AKB adalah prematuritas[4][5][8].

Bayi prematur adalah bayi yang lahir kurang dari usia 37 minggu kehamilan dimana memiliki resiko tinggi mengalami kematian. Hal ini dikarenakan ketidakmatangan sistem organ tubuh[9]. Dengan banyaknya jumlah bayi prematur di Indonesia yang menempati urutan kelima tertinggi di dunia pertahunnya [10] maka dibutuhkan inkubator yang berfungsi untuk menolong mereka agar diselimuti dengan suhu serta kelembapan yang sesuai seperti di dalam rahim ibu sambil menunggu kematangan sistem organ tubuhnya. Oleh karena itu, inkubator bayi merupakan alat yang sangat penting untuk menyokong kehidupan bayi khususnya bayi prematur.

Salah satu kekurangan inkubator bayi saat ini adalah tidak dapat mempertahankan suhu dan kelembapan secara stabil dan presisi[6]. Hal ini dikarenakan panas yang berada di dalam inkubator mengalir keluar inkubator sehingga suhu di dalam inkubator cenderung lebih dingin dengan kelembapan yang lebih tinggi. Hal ini diakibatkan oleh sifat alamiah kalor itu sendiri, dimana jenis perpindahan panas seperti ini disebut konduksi dan konveksi[11]. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahawa jika temperatur diluar inkubator tidak stabil, maka temperatur di dalam inkubator tidak akan pernah bisa stabil.

Pada bayi prematur, suhu dan kelembapan inkubator harus dijaga pada zona termonetral yaitu antara 36oC-37oC atau sekitar 36.5oC dan kelembapan sekitar 40%-60% atau sekitar 50% [6]. Hal ini dikarenakan bayi prematur mempunyai keterbatasan dalam mengatur suhu tubuhnya. Jika aturan ini tidak diikuti maka bayi dapat terkena hypothermia[12] atau hyperthermia [13]. Jadi agar menghindari resiko tersebut maka diperlukan suatu metode kontrol temperatur pada inkubator bayi yang dapat menghasilkan temperatur pada suhu 36.5 oC dan kelembapan 50% secara stabil dan presisi.

Salah satu solusi untuk penyelesaian masalah tersebut adalah penggunaan metode PID

Disturbance Observer (PID-DOB) sebagai kontrol temperatur dan kelembapan. Metode ini merupakan gabungan antara kontrol PID [14] yang berfungsi agar suhu dan kelembapan aktual sama dengan suhu dan kelembapan referensi yang diberikan dan DOB [15] yang berfungsi untuk me-reject gangguan luar yang mempengaruhi sistem.

Gangguan sistem inkubator berasal dari perpindahan panas yang terjadi melalui konduksi dan konveksi dari dalam sistem inkubator ke luar sistem inkubator. Oleh karena itu pada penelitian ini akan mencoba untuk membuat kontrol PID Disturbance Observer untuk menghasilkan suhu inkubator yang sesuai dengan yang diinginkan walaupun terjadi perpindahan panas melalui konduksi dan konveksi ke luar sistem.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Inkubator

Inkubator adalah perangkat atau fasilitas yang diciptakan untuk menciptakan lingkungan yang terkendali dan optimal bagi perkembangan bayi. Inkubator memiliki kemampuan untuk mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis, memastikan bahwa kondisi lingkungan tetap sesuai dengan persyaratan yang diinginkan. Komponen yang ada di Inkubator:

1. Sensor: Sensor suhu dan kelembapan mendeteksi kondisi lingkungan di dalam inkubator dan memberikan informasi kepada sistem kontrol.
2. Sistem Kontrol: Sistem ini mengolah informasi dari sensor dan mengatur perangkat seperti pemanas dan pengatur kelembapan untuk mempertahankan suhu dan kelembapan pada tingkat yang diinginkan.
3. Perangkat Pemanas: Pemanas dalam inkubator bertanggung jawab untuk meningkatkan suhu dalam lingkungan inkubator jika diperlukan.
4. Sistem Pengatur Kelembapan: Sistem ini dapat mengeluarkan uap air atau mengatur

aliran udara untuk mengatur kelembaban di dalam inkubator.

5. Kipas dan Difuser: Kipas membantu mendistribusikan udara di dalam inkubator untuk menjaga konsistensi suhu dan kelembaban.
6. Kontrol Panel: Ini adalah rangkaian yang memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu dan kelembaban yang diinginkan serta melihat data yang diperoleh dari sensor.
7. Alarm: Sistem peringatan yang memberitahu pengguna jika suhu atau kelembaban keluar dari kisaran yang diinginkan.
8. Data Logger: Beberapa inkubator memiliki kemampuan untuk merekam data suhu dan kelembaban selama periode waktu tertentu.

Pada penelitian ini inkubator akan dibuat menggunakan simulasi pada MATLAB2014a. Simulasi ini berdasarkan 4 variabel yang berasal dari karakteristik inkubator itu sendiri yaitu:

1. Temperatur ruangan ( $T_{room}$ ).
2. Temperatur lingkungan ( $T_{out}$ ).
3. Energi termal yang berasal dari pemanas ke ruangan ( $Q_{gain}$ ) dimana dihitung berdasarkan persamaan 2.1.

$$\frac{Q_{gain}}{dt} = M_{heater} c_{air} (T_h - T_r) \quad (2.1)$$

dimana:

- $Q_{gain}$  = Energi termal yang berasal dari pemanas ke ruangan (J)
- $M_{heater\ air}$  = massa udara per waktu (Kg/s)
- $c_{air}$  = kapasitas panas udara (J/kg °C)
- $T_h$  = temperatur pemanas (°C)
- $T_r$  = temperatur ruangan (°C)

4. Energi termal yang berasal dari ruangan ke lingkungan ( $Q_{loss}$ ) dimana dihitung berdasarkan persamaan 2.2.

$$\frac{Q_{loss}}{dt} = \frac{kA(T_r - T_{out})}{D} \quad (2.2)$$

dimana:

- $Q_{loss}$  = Energi termal yang hilang ( $Q_{loss}$ ).
- $k$  = koefisien konduktivitas termal (W/m °C)
- $A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)
- $D$  = tebal dinding (m)
- $T_r$  = temperatur pemanas (°C)
- $T_{out}$  = temperatur di luar ruangan (°C)

Untuk mengukur laju perubahan temperatur ruangan, energi termal dari pemanas ke ruangan dikurangi energi termal yang hilang dari ruangan ke lingkungan. Besarnya laju perubahan temperatur ruangan dirumuskan seperti pada (2.3).

$$\frac{dT_r}{dt} = \frac{1}{m_{room\ air} c_{air}} \left( \frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_{loss}}{dt} \right) \quad (2.3)$$

#### B. Differential Evolution (DE)

Differential Evolution (DE) adalah sebuah algoritma optimisasi yang digunakan untuk menemukan solusi yang baik dari masalah optimisasi yang kompleks. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh Rainer Storn dan Kenneth Price pada tahun 1995. DE adalah algoritma metaheuristik yang termasuk dalam kategori algoritma evolusioner.

Tujuan utama dari Differential Evolution adalah untuk mencari nilai parameter yang mengoptimalkan suatu fungsi tujuan. Fungsi tujuan ini bisa berupa fungsi yang perlu dimaksimalkan atau diminimalkan, seperti fungsi biaya atau error dalam masalah optimisasi. Algoritma DE khususnya berguna ketika tidak ada metode analitik yang efisien untuk menemukan solusi optimal.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam Differential Evolution:

1. Inisialisasi Populasi: Langkah pertama adalah menginisialisasi sebuah populasi awal dengan solusi-solusi acak. Setiap solusi direpresentasikan sebagai vektor dari nilai-nilai parameter yang akan dioptimalkan.

2. Seleksi: Dari populasi saat ini, tiga solusi (disebut vektor differensial) dipilih secara acak.
3. Mutasi: Vektor differensial tersebut digunakan untuk menciptakan sebuah vektor mutasi baru dengan menggabungkan perbedaan antara dua vektor dan mengalikan dengan sebuah faktor skala.
4. Crossover: Proses crossover kemudian diterapkan antara vektor mutasi baru dan solusi dari populasi. Ini menghasilkan vektor potensial yang baru.
5. Evaluasi: Setiap vektor potensial dievaluasi menggunakan fungsi tujuan, dan hasil evaluasi dibandingkan dengan solusi dari populasi.
6. Seleksi Akhir: Solusi terbaik antara solusi awal dan vektor potensial yang dievaluasi dipilih untuk membentuk populasi baru.
7. Iterasi: Langkah-langkah 2 hingga 6 diulang sejumlah iterasi tertentu atau hingga kriteria penghentian terpenuhi (misalnya, jumlah iterasi maksimum tercapai atau solusi yang sudah cukup baik ditemukan).
8. Keluaran: Setelah konvergensi dicapai atau iterasi selesai, solusi terbaik yang ditemukan menjadi hasil akhir algoritma DE.

Salah satu keunggulan utama Differential Evolution adalah kemampuannya dalam menangani masalah optimisasi yang tidak memiliki struktur matematis yang jelas atau gradien yang sulit dihitung. DE juga relatif mudah diimplementasikan dan memiliki sedikit parameter yang perlu disetel.

Namun, seperti algoritma optimisasi lainnya, DE juga memiliki beberapa kelemahan dan batasan, seperti kecenderungan untuk terjebak dalam minimum lokal dan kinerja yang bergantung pada pemilihan parameter yang tepat. Oleh karena itu, pemilihan parameter dan penyesuaian skema operasi perlu dilakukan secara hati-hati untuk mendapatkan hasil yang baik.

### C. Kontrol PID

Kontrol PID adalah metode kontrol umpan balik yang digunakan untuk mengatur suatu sistem dinamis. Singkatan "PID" berasal dari tiga komponen kunci dalam metode ini yakni Proporsional (P), Integral (I), dan Derivatif (D). Tujuan dari kontrol PID adalah untuk mengatur variabel keluaran suatu sistem agar mendekati nilai yang diinginkan atau referensi dengan seefektif mungkin, dengan mempertimbangkan perbedaan antara nilai yang diinginkan dan aktual serta perubahan dalam waktu. Komponen control PID adalah sebagai berikut:

1. Proporsional (P): Komponen ini menghasilkan tindakan koreksi yang proporsional terhadap selisih antara nilai yang diinginkan dan aktual (error). Semakin besar error, semakin besar tindakan koreksi. Namun, pendekatan ini dapat menyebabkan overshoot (nilai yang melebihi nilai yang diinginkan) dan osilasi jika hanya menggunakan P.
2. Integral (I): Komponen ini mengambil integral dari error sepanjang waktu. Ia membantu mengatasi error akumulatif yang mungkin terjadi dengan P saja. Integral membantu menghilangkan offset yang dapat terjadi pada sistem yang cenderung memiliki error tetap.
3. Derivatif (D): Komponen ini mengukur laju perubahan error. Dengan memprediksi seberapa cepat error berubah, komponen D membantu mengurangi overshoot dan osilasi yang dihasilkan oleh P.

Kontrol PID bekerja dengan menggabungkan tiga komponen di atas menjadi satu tindakan koreksi yang diterapkan ke sistem. Tindakan koreksi ini dirancang untuk mengendalikan keluaran sistem agar mendekati nilai referensi. Setiap komponen (P, I, D) memiliki faktor tertentu (koefisien) yang dapat diatur oleh pengguna untuk mengoptimalkan respons sistem.

Misalnya, dalam sebuah sistem pemanas ruangan dengan kontrol PID:

1. Proporsional (P): Jika suhu ruangan lebih rendah dari yang diinginkan, komponen P akan memberikan tindakan koreksi yang lebih besar, meningkatkan pemanasan.
2. Integral (I): Jika suhu ruangan terus di bawah nilai yang diinginkan, komponen I akan memberikan tindakan koreksi yang semakin besar seiring waktu, menghilangkan kesalahan akumulatif.
3. Derivatif(D): Jika suhu ruangan mendekati nilai yang diinginkan secara cepat, komponen D akan meredam laju perubahan suhu agar tidak terjadi overshoot.

Beberapa aplikasi dari Kontrol PID yaitu sebagai berikut:

1. Kendali Proses Industri: Memantau dan mengendalikan suhu, tekanan, aliran, dan variabel lainnya dalam proses industri.
2. Kontrol Otomatis Kendaraan: Mengoptimalkan kendali gas dan rem dalam kendaraan.
3. Kendali Suhu Ruangan: Mengatur sistem pemanasan, ventilasi, dan pendinginan dalam bangunan.
4. Robotika: Mengontrol pergerakan dan tindakan robot dengan presisi.
5. Kendali Penerbangan: Mengendalikan pergerakan pesawat dan drone.

#### D. Disturbance Observer

Disturbance Observer (DOB) adalah komponen dalam sistem kontrol yang dirancang untuk mengatasi dan mengurangi efek gangguan yang mempengaruhi kinerja sistem. Gangguan adalah faktor eksternal yang tidak terduga yang dapat menyebabkan perubahan dalam respons sistem dan mengganggu pencapaian tujuan kontrol. DOB bekerja dengan memonitor dan mengestimasi gangguan yang ada di dalam sistem, kemudian memberikan kompensasi yang

diperlukan agar respons sistem tetap sesuai dengan tujuan kontrol.

DOB bekerja dengan memprediksi dan mengkompensasi gangguan yang mempengaruhi sistem. Proses ini melibatkan beberapa Langkah yaitu sebagai berikut:

1. Pengamatan Gangguan: DOB memantau input dan output sistem untuk mengidentifikasi perbedaan antara respons aktual dan respons yang diharapkan dalam kondisi bebas gangguan.
2. Estimasi Gangguan: DOB menghitung atau mengestimasi besaran dan karakteristik gangguan berdasarkan perbedaan yang diamati.
3. Pengompensasian: Setelah estimasi gangguan diperoleh, DOB menghasilkan sinyal kontrol yang mengkompensasi pengaruh gangguan, sehingga respons sistem tetap sesuai dengan tujuan kontrol.
4. Iterasi dan Koreksi: Proses pengamatan, estimasi, dan pengompensasian terus berulang secara iteratif untuk mengatasi perubahan dan variasi dalam gangguan.

Beberapa keuntungan penggunaan Disturbance Observer pada aplikasi kontrol adalah sebagai berikut:

1. Anti-Gangguan: DOB membantu sistem untuk tetap responsif terhadap gangguan dan tetap mencapai tujuan kontrol meskipun adanya perubahan dalam lingkungan atau input.
2. Adaptabilitas: DOB dapat diatur untuk beradaptasi dengan variasi gangguan yang mungkin terjadi dalam sistem.
3. Peningkatan Kinerja: Dengan mengurangi efek gangguan, DOB dapat meningkatkan presisi dan kinerja kontrol sistem.
4. Pengurangan Overcompensation: DOB membantu menghindari respons yang berlebihan atau overcompensation yang mungkin terjadi tanpa adanya mekanisme pengamatan gangguan.

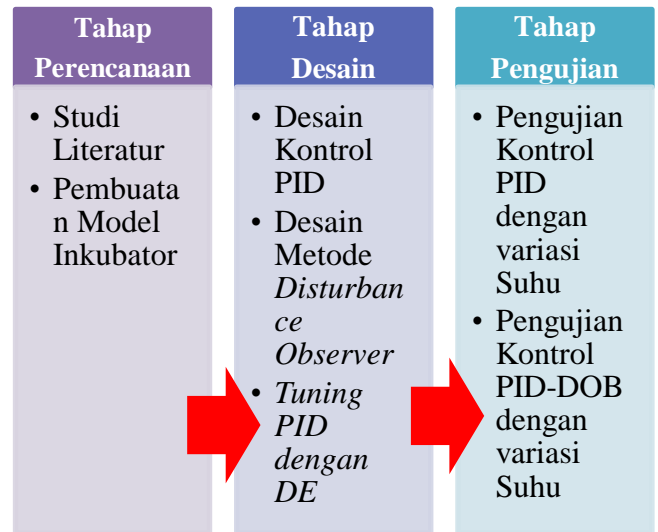
Beberapa aplikasi Disturbance Observer yaitu sebagai berikut:

1. Kendali Proses Industri: DOB dapat digunakan dalam industri untuk mengatasi perubahan suhu, tekanan, atau aliran yang mempengaruhi proses produksi.
2. Kendali Penerbangan: Dalam penerbangan, DOB membantu mengatasi perubahan kondisi angin atau beban yang dapat mempengaruhi pergerakan pesawat.
3. Kendali Robotika: Dalam robotika, DOB membantu mengatasi perubahan dalam beban dan gesekan yang mempengaruhi pergerakan robot.
4. Kendali Otomotif: Dalam kendaraan, DOB dapat digunakan untuk mengatasi gangguan seperti ketidakstabilan jalan atau kondisi cuaca yang buruk.

Disturbance Observer adalah alat yang sangat berguna dalam sistem kontrol, membantu menjaga stabilitas dan kinerja sistem meskipun adanya gangguan yang tidak diinginkan. Ini adalah contoh bagaimana teknologi kontrol berkembang untuk mengatasi tantangan dalam pengendalian sistem yang semakin kompleks.

### III. METODE PENELITIAN

Hasil penelitian ini akan membuat sebuah metode kendali atau kontrol temperatur yaitu PID Disturbance Observer. Dalam memperoleh hasil tersebut, maka penelitian ini akan melalui serangkaian tahapan tertentu. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa penelitian ini akan melalui 3 tahapan. Tahapan-tahapan tersebut akan dijabarkan sebagai berikut:

#### 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 kontrol, temperatur udara luar akan dibuat 2 variasi. Variasi tersebut antara lain:

- a. Variasi I : suhu udara luar dibuat tidak berubah sebesar 25°C.
- b. Variasi II : suhu udara luar dibuat naik secara drastis dari 25°C menjadi 55°C.

#### 2. Tahap Desain

Pada tahap desain, penelitian akan mulai mendesain kontrol temperatur yang tepat untuk menanggulangi variasi temperatur yang diberikan ke sistem. Pertama, penelitian ini akan merancang

sistem kontrol PID pada operasi normal dimana suhu luar tidak berubah yaitu tetap pada suhu 25°C. *Setting temperature* akan dibuat sebesar 36.5°C. Setelah *output temperature* sudah sama dengan *setting temperature* maka tahap selanjutnya adalah mendesain metode *disturbance observer*.

Pembuatan metode *disturbance observer* ini melalui 2 tahap, yaitu pembuatan *invers model* inkubator dan pembuatan *low pass filter*. Pembuatan *invers model* inkubator dan *low pass filter* 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 4 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 *integral time absolute error* (ITAE). Makin kecil nilai ITAE maka akan semakin baik kinerja dari sebuah kontrol. ITAE ini akan dihitung menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt$$

dimana:

ITAE = integral time absolute error

t = waktu (s)

e(t) = nilai eror terhadap waktu

## IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Senerti vanø telah dikemukakan sebelumnya



temperatur ini akan menjadi gangguan bagi sistem pemanas ruangan ini. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan simulink pada MATLAB 2014.

Pengujian dilakukan pada dua kontroler yang berbeda, yaitu kontroler PID dan PID-DOB. Dua kontroler ini akan menghasilkan dua respon yang berbeda terhadap dua variasi gangguan tersebut.

Setelah respon didapat maka akan dihitung indeks kinerja kedua kontroler tersebut menggunakan persamaan 3.1. Dengan menggunakan nilai indeks kinerja tersebut akan diketahui mana kontroler yang paling tahan terhadap gangguan yang disebabkan oleh temperatur udara luar.

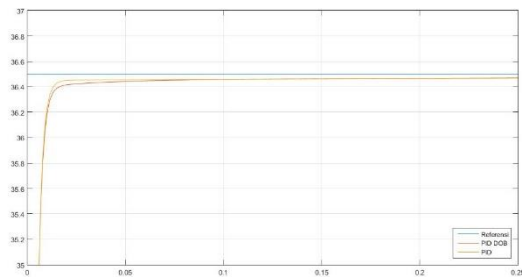
Setelah melakukan simulasi pengujian, maka didapat respon yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai 4.2. Respon ini dicapai dengan memanfaatkan proses Tuning PID menggunakan DE. DE ini akan dieksekusi sebanyak 5 kali untuk menemukan Kp, Ki, Kd yang tepat untuk setting suhu sebesar 36.5°C.. Dari 5 nilai Kp, Ki, Kd ini akan dihitung nilai rata-ratanya. Nilai ketiga konstanta ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 1.** Tuning PID menggunakan DE

Percobaan	Kp	Ki	Kd
1	313.56	500	0.1
2	312.35	500	0.1
3	313.89	500	0.1
4	312.77	500	0.1
5	313.12	500	0.1
<b>Rata-Rata</b>	313.138	500	0.1

Nilai ketiga konstanta tersebut akan dimasukkan ke dalam simulasi. Respon sistem yang dihasilkan oleh simulasi ini, memiliki tiga grafik pada tiap gambar. Grafik tersebut adalah grafik referensi, respon sistem yang menggunakan kontroler PID dan PID *Disturbance Observer*.

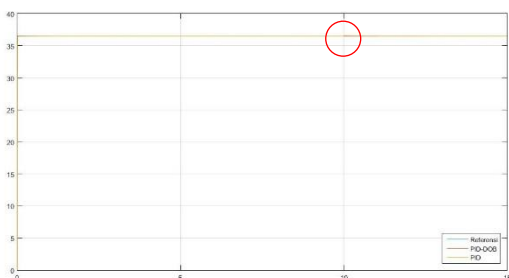
Gambar 1. Hasil Pengujian I



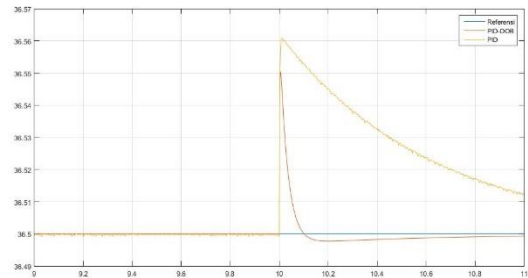
Gambar 2 Hasil Pengujian I (Zoom)

Pada pengujian I, Gambar 1 memperlihatkan bahwa respon sistem untuk kontroler PID dan PID-DOB hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa kedua kontroler memberikan ketahanan yang hampir sama terhadap gangguan akibat suhu udara luar. Gambar 2 memperlihatkan bahwa kontroler PID-DOB memberikan kecepatan menuju *setting* suhu yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol PID

Pada pengujian II, pada Gambar 3 diperlihatkan respon yang hampir sama juga. Tetapi jika kita perbesar di detik ke-10 dimana terjadi gangguan maka dapat dilihat bahwa kontroler PID memberikan *overshoot* lebih besar dibandingkan PID-DOB. Jika Gambar 3 diperbesar maka akan tampak seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Hasil Pengujian II



Gambar 4. Hasil Pengujian II (Zoom)

Dari Gambar 4 kontroler PID menghasilkan *overshoot* sebesar 36.56°C sedangkan PID-DOB menghasilkan *overshoot* sebesar 36.55°C. Tetapi jika melihat *settling* timenya, maka dapat dilihat bahwa PID-DOB menghasilkan *settling* time sebesar 0.1 detik sedangkan PID menghasilkan *settling* time lebih dari 1 detik. Hasil menunjukkan bahwa PID-DOB lebih tahan terhadap gangguan kenaikan suhu udara luar dibandingkan kontroler PID.

Setelah melakukan simulasi untuk melihat respon sistem kedua kontroler, penelitian ini juga akan menghitung indeks kinerja ITAE kedua kontroler terhadap empat gangguan sebelumnya. Nilai ITAE ini bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Nilai ITAE PID dan PID-DOB

Pengujian	Kontroler	
	PID	PID-DOB
I	0.0486	0.0179
II	0.4354	0.0521
<b>Rata-Rata</b>	<b>0.242</b>	<b>0.035</b>

Dari Tabal 2 menunjukkan bahwa indeks kinerja kontroler PID-DOB jauh lebih baik dibandingkan dengan PID.



## V. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan 2 buah kontroler yaitu kontroler PID dan kontroler PID Disturbance Observer untuk mengendalikan suhu di dalam inkubator. Kedua control tersebut akan diuji dimana inkubator akan diberi gangguan berupa perubahan suhu udara luar sehingga terjadi perpindahan panas melalui konveksi dan konduksi. Perpindahan panas disini akan menjadi gangguan pada sistem ini.

Hasil menunjukkan bahwa kontroler PID Disturbance Observer dengan tuning menggunakan Differential Evolution (DE) menjadi control yang paling efektif dalam mengatur suhu udara di dalam inkubator sekaligus dapat mempertahankan suhu tersebut dari gangguan luar berupa suhu udara luar yang berubah-ubah

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama saya ucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikbud yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini. Kedua penulis mengucapkan terima kasih juga kepada Universitas Widya Kartika yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk penyelesaian penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusnandar VB. Angka Kematian Bayi Neonatal ASEAN, Indonesia Urutan Berapa? [Internet]. 2022 [dikutip 22 Maret 2023]. Tersedia pada: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/11/22/angka-kematian-bayi-neonatal-asean-indonesia-urutan-berapa>
- [2] Rangkuti NA, Rangkuti MAS. Gambaran Pengetahuan Ibu Hamil tentang Teknik Meneran yang Benar di Wilayah Kerja Puskesmas Batu Horpak Tahun 2022. *Jurnal Kesehatan Ilmiah Indonesia*. 7(2):188–93.
- [3] Kusnandar VB. Kematian Balita di Indonesia Capai 28,2 Ribu pada 2020 [Internet]. 2021 [dikutip 22 Maret 2023]. Tersedia pada: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/10/22/kematian-balita-di-indonesia-capai-282-ribu-pada-2020>
- [4] Antari GY, Afrida BR. Hubungan Pekerjaan Ibu dengan Kejadian Persalinan Preterm dengan Ketuban Pecah Dini di RSUD Dr. Rasidin Padang dan RSIA Siti Rahmah. *Jurnal Kesehatan Qamarul Huda*. 2018;6(2):6–11.
- [5] Lapono LAS. Sistem Pengontrolan Suhu dan Kelembapan Pada Inkubator Bayi. *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*. 2016;1(1):12–7.
- [6] 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.
- [7] Wulandari DA, Utomo IH. Responsivitas Dinas Kesehatan Kabupaten Karanganyar dalam Upaya Menurunkan Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Bayi (AKB) di Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Wacana Publik*. 2017;1(3):40–9.
- [8] Sari TW, Syarif S. Hubungan Prematuritas dengan Kematian Neonatal di Indonesia Tahun 2010 (Analisis Data Riskesdas 2010). *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*. 2016;1(1):9–14.
- [9] Rizqiani RF, Yuliana L. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kematian Bayi Prematur di Indonesia. *Jurnal Ilmiah WIDYA Kesehatan Dan Lingkungan*. 2017;1(2):135–41.
- [10] Sariati Y, Nooryanto M, Anggraini PDA. Pengaruh Penggunaan Magnesium Sulfate (MgSO<sub>4</sub>) saat Antenatal Sebagai Neuroprotektor Bayi Prematur Terhadap Perkembangan Motorik Kasar Usia 2-3

- Tahun. *Journal of Issues in Midwifery*. 2017;1(2):50–7.
- [11] Utami NR, Handayani IP, Iskandar RF. Kontrol Suhu dan Analisis Transfer Panas Konveksi Pada Central Processing Unit (CPU). *Jurnal E-Proceeding of Engineering*. 4(1):726–35.
- [12] Surmayanti S, P. FJ, Usman ASHH. Pengaruh Perawatan Metode Kanguru (PMK) Terhadap Pencegahan Hipotermi Pada BBLR di RSUD Bahagia Makassar. *Journal of Sciences and Health*. 2021;1(2):1–5.
- [13] Butarbutar MH, Sholikhah S, Napitupulu LH. Hubungan Pengetahuan dan Sikap Ibu Tentang Demam dengan Penanganan Demam Pada Anak di Klinik Shanty Medan. *Jurnal Preventif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 9(2):53–7.
- [14] Hidayat N, Iskandar RF, Rokhmat M. Temperature Control Personal Computer Using Liquid Cooling System Based PID Control. Dalam Bandung; 2015.
- [15] Has Z, Muslim AH, Mardiyah NA. Adaptive-Fuzzy-PID Controller Based Disturbance Observer for DC Motor Speed Control. Dalam Yogyakarta; 2017.