

# Desain Metode PID-Simulated Annealing Sebagai Kontrol Temperatur Pada Inkubator Bayi

Yoga Alif Kurnia Utama<sup>1</sup>, Dwi Taufik Hidayat<sup>2</sup>

Teknik Elektro<sup>1</sup>, Teknik Informatika<sup>2</sup>

Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika<sup>1,2</sup>

Telp. +62315922403/5926359, Fax. +6231 5925790

E-mail: yoga.alif@widyakartika.ac.id<sup>1</sup>, taufikdwi17@gmail.com<sup>2</sup>

## Abstrak

Penelitian ini membandingkan antara 2 kontroler yaitu kontroler On-Off dan PID-Simulated Annealing yang merupakan kontrol PID yang parameternya dituning menggunakan metode simulated annealing. Kedua metode tersebut diaplikasikan pada inkubator dengan disertai 3 gangguan berupa variasi suhu udara luar yang mempengaruhi suhu di dalam inkubator. Performansi kedua kontroler tersebut dihitung menggunakan kriteria Integral Time Absolute Error (ITAE). Hasil menunjukkan bahwa rata-rata ITAE antara kontrol On-Off dan PID-Simulated Annealing adalah sebesar 534.925 dan 1.894. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kontrol PID-Simulated Annealing merupakan kontrol yang paling efektif dalam mengatur suhu udara di dalam inkubator dan dapat mempertahankan suhu udara tersebut dari gangguan karena suhu udara luar.

*Kata Kunci: On-Off, Inkubator, PID, Simulated Annealing*

## Abstract

This study compares 2 controllers, the On-Off controller and the PID-Simulated Annealing which is a PID control whose parameters are tuned using the simulated annealing method. Both methods are applied to the incubator accompanied by 3 disturbances in the form of variations in the outside air temperature which affect the temperature inside the incubator. The performance of the two controllers is calculated using the *Integral Time Absolute Error* (ITAE) criteria. The results showed that the average ITAE between On-Off and PID-Simulated Annealing controls was 534,925 and 1,894. These results it can be concluded that the PID-Simulated Annealing control is the most effective control in regulating the temperature of the air inside the incubator and can maintain the air temperature from interference due to outside air temperatures.

*Keywords : On-Off, incubator, PID, Simulated Annealing*

## 1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, masalah kesehatan masih menjadi masalah utama dan menjadi perhatian serius dari pemerintah. Salah satu indikator yang menunjukkan derajat kesehatan di suatu masyarakat adalah Angka Kematian Bayi (AKB) (Wulandari & Utomo, 2017). Indonesia masih menempati peringkat kedua AKB tertinggi di ASEAN pada tahun 2017 (Secretariat, 2017) dan faktor paling banyak yang menyebabkan tingginya AKB adalah prematuritas (Saria & Syarif, 2016).

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 (Rizqiani & Yuliana, 2017). Dengan banyaknya jumlah bayi prematur di Indonesia yang menempati urutan kelima tertinggi di dunia pertahunnya (Sariati et al., 2017) maka dibutuhkan sebuah inkubator yang berfungsi untuk menolong mereka agar diselimuti dengan suhu serta kelembaban 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 secara stabil dan presisi (Mittal, Mathew, & Gupta, 2015). Hal ini dikarenakan panas di dalam inkubator akan mengalir ke luar inkubator. Dari sini dapat dilihat bahwa, temperatur di dalam inkubator akan cenderung dipengaruhi oleh temperatur di luar inkubator tersebut. Jadi jika suhu di luar inkubator lebih dingin daripada suhu di dalam inkubator, maka suhu di dalam inkubator cenderung lebih dingin, dan begitu pula sebaliknya.

Hal ini diakibatkan oleh sifat alamiah kalor itu sendiri, dimana jenis perpindahan panas seperti ini disebut konduksi dan konveksi (Utami, Handayani, & Iskandar, 2017). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jika temperatur diluar inkubator tidak stabil, maka temperatur di dalam inkubator tidak akan pernah bisa stabil.

Pada bayi prematur, suhu inkubator harus dijaga pada suhu zona termonetral yaitu antara 36 °C sampai 37°C (Nisha & Elahi, 2014). Hal ini dikarenakan bayi prematur mempunyai keterbatasan dalam mengatur suhu tubuhnya. Jika aturan ini tidak diikuti maka bayi dapat terkena hypothermia (Harahap et al., 2014) atau hyperthermia (Butarbutar et al., 2018). Jadi agar

menghindari resiko tersebut maka diperlukan suatu metode kontrol temperatur pada inkubator bayi yang dapat menghasilkan temperatur yang stabil dan presisi serta mengatasi gangguan (*disturbance*) yang berasal dari ketidak stabilan temperatur di luar inkubator.

Penggunaan kontrol dalam mengatur suhu telah dilakukan dalam beberapa penelitian. Salah satu penelitian tersebut adalah penggunaan kontrol fuzzy untuk mengatur suhu pada sistem hipertermia (Madyanto, Santoso, & Setiawan, 2010). Sistem ini merupakan sistem untuk terapi tumor dengan cara membangkitkan panas yang cukup untuk membunuh sel-sel tumor yang ada. Pada penelitian ini kontrol fuzzy digunakan agar nilai referensi sistem tersebut berkisar antara 42°C-45°C. Kontrol ini dapat membuat suhu aktual cenderung lebih stabil dan mengikuti suhu referensi tersebut.

Selain itu, pada suatu penelitian yang lain (Ginting & Brahmana, 2013), metode kontrol On-Off digunakan dalam mengatur suhu inkubator dalam selang 33°C-35°C. Kontrol ini juga telah berhasil dalam menjaga suhu dalam range tersebut.

Penelitian lain yang juga mengaplikasikan kontrol dalam pengaturan suhu yaitu penggunaan kontrol PID dalam mengatur suhu CPU (Hidayat, Iskandar, & Rokhmat, 2015). Pada penelitian tersebut, metode PID digunakan untuk menurunkan suhu CPU agar sesuai dengan setting suhu yang diinginkan. Hasil menunjukkan bahwa setelah metode PID ini digunakan, suhu CPU dapat turun dan mendekati suhu setting yang dikehendaki, tetapi suhu ini masih belum dapat stabil.

Pada penelitian ini, penulis memiliki ide untuk memperbaiki kontrol PID ini dengan cara menambahkan metode optimasi metaheuristik sebagai metode untuk melakukan tuning pada parameter PID-nya. Metode optimasi metaheuristik yang dipakai adalah metode simulated annealing. Metode ini akan melakukan perubahan pada parameter PID ketika gangguan pada sistem terjadi, sehingga diharapkan sistem akan lebih tahan terhadap gangguan yang terjadi pada sistem.

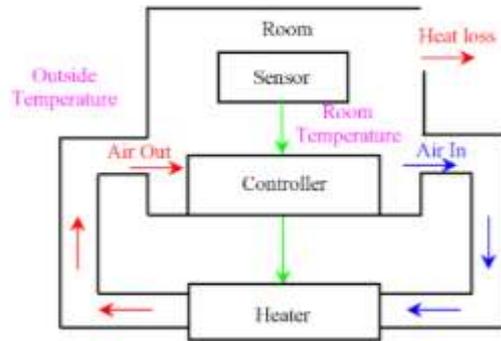
## 2. METODE

### 2.1 Model Matematika Inkubator

Pada penelitian ini, inkubator digambarkan sebagai sebuah sistem pemanas ruangan (Mathworks, 2020). Sebuah sistem pemanas ruangan terdapat tiga komponen utama, yaitu ruangan, sensor temperatur, dan pemanas. Ada empat variabel penting yang saling berhubungan dalam sistem inkubator tersebut. Empat variabel penting itu adalah sebagai berikut:

1. Temperatur lingkungan ( $T_{out}$ ).
2. Temperatur ruangan ( $T_{room}$ ).
3. Energi termal yang berasal dari pemanas ke ruangan ( $Q_{gain}$ ).
4. Energi termal yang berasal dari ruangan ke lingkungan ( $Q_{loss}$ ).

Hubungan antara empat variabel ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Inkubator

Jika inkubator dinyalakan, dan suhu pemanas dinaikkan sampai pada titik tertentu yaitu  $T_{heater}$ , maka terjadi perpindahan panas dari pemanas ke ruangan secara konveksi. Jika suhu ruangan awal adalah  $T_{room}$ , maka kenaikan energi thermal yang mengalir dari pemanas ke ruangan ( $Q_{gain}$ ) dirumuskan sesuai dengan persamaan (1).

$$Q_{gain} = m_{heater\ air} c_{air} (T_h - T_r) \quad (1)$$

dimana:

$Q_{gain}$  = energi termal yang berasal dari pemanas ke ruangan (J)

$M_{heater\ air}$  = massa udara total (Kg)

$c_{air}$  = kapasitas panas udara (J/kg °C)

$T_h$  = temperatur pemanas (°C)

$T_r$  = temperatur ruangan (°C)

Dari Gambar 1, mula-mula udara yang berada di ruangan disedot oleh sebuah kipas. Udara yang disedot itu akan melalui pemanas sehingga suhu udara tersebut akan naik. Udara yang telah dinaikkan suhunya ini kembali lagi ke ruangan. Laju energi termal yang berasal dari pemanas ke udara dirumuskan sesuai dengan (2).

$$\frac{Q_{gain}}{dt} = \frac{m_{heater\ air}}{dt} c_{air} (T_h - T_r) \quad (2)$$

Massa udara per waktu yang berasal dari pemanas selalu konstan. Oleh karena itu, persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan (3).

$$\frac{Q_{gain}}{dt} = \dot{M}_{heater} c_{air} (T_h - T_r) \quad (3)$$

Energi panas yang diterima udara dari pemanas, ada sebagian yang hilang sebesar  $Q_{loss}$ . Hal ini dikarenakan perpindahan panas dari ruangan ke luar secara konduksi. Konduksi ini ada yang melalui dinding atau jendela pada ruangan tersebut. Besarnya energi termal yang hilang ini dirumuskan pada (4).

$$\frac{Q_{loss}}{dt} = \frac{kA(T_r - T_{out})}{D} \quad (4)$$

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<sub>r</sub> = temperatur ruangan (°C)
- T<sub>out</sub> = temperatur di luar ruangan (°C)

Pada persamaan (4), variabel k, A, dan D merupakan sebuah konstanta. Untuk menyederhanakan persamaan (5) maka bagian kA/D diganti dengan 1/R. Pada kasus ini, R merupakan koefisien resistansi panas. Oleh karena itu persamaan (4) dapat diubah menjadi lebih sederhana seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5).

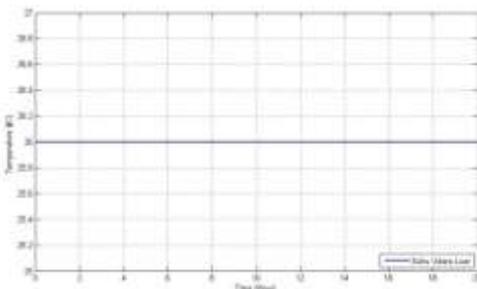
$$\frac{dQ_{loss}}{dt} = \frac{(T_r - T_{out})}{R} \tag{5}$$

Dari persamaan (1) sampai (5) maka dapat diturunkan persamaan mengenai laju perubahan temperatur ruangan dimana sebanding dengan selisih antara laju energi termal dari pemanas ke ruangan dan laju energi termal yang hilang dari ruangan ke lingkungan. Besarnya laju perubahan temperatur ruangan dirumuskan seperti pada (6).

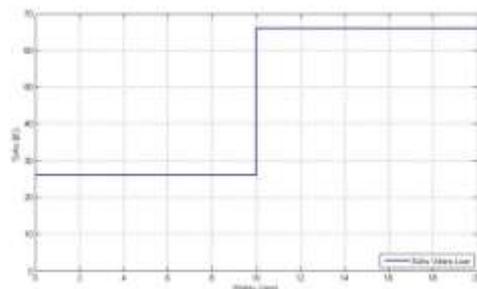
$$\frac{dT_r}{dt} = \frac{1}{m_{room\ air} c_{air}} \left( \frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_{loss}}{dt} \right) \tag{6}$$

**2.2 Desain Gangguan**

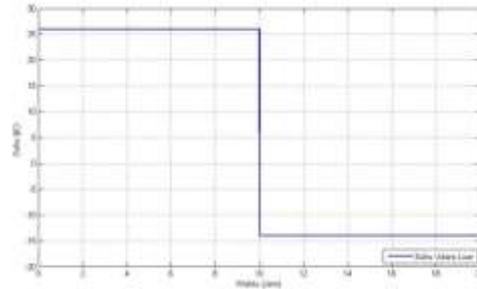
Ada 3 model variasi gangguan berupa variasi suhu udara luar yang digunakan pada penelitian ini. Grafik variasi suhu udara luar ini ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 4.



**Gambar 2.** Model Suhu Udara Luar I



**Gambar 3.** Model Suhu Udara Luar II



**Gambar 4.** Model Suhu Udara Luar III

Persamaan (5) menunjukkan bahwa kelajuan energi panas yang hilang sebanding dengan perbedaan suhu udara antara suhu udara di dalam ruangan dengan suhu udara di luar ruangan. Jika perbedaan suhu udara antara di dalam ruangan dan di luar ruangan tinggi, maka laju kehilangan energi panasnya akan semakin besar. Dari sini dapat disimpulkan bahwa, dengan mengubah-ubah suhu udara luar, dapat memberikan gangguan pada sistem inkubator.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa, penelitian ini akan membandingkan performa antara kontrol On-Off dan kontrol PID-Sumulated Annealing dalam mengontrol suhu di dalam inkubator. Dalam menguji performa tersebut, maka inkubator akan diberi gangguan berupa suhu udara luar yang berubah-ubah. Pemberian gangguan ini dimaksudkan agar dapat mengukur tingkat ketahanan kontrol terhadap gangguan dimana tiap kontrol harus mengendalikan suhu inkubator yang pada penelitian ini akan diset sebesar 35°C.

Pada Gambar 2, suhu udara luar dibuat tetap sebesar 26°C selama 20 jam. Sedangkan pada Gambar 3, suhu udara luar dibuat mengalami kenaikan. Pada 10 jam pertama, suhu udara dibuat sebesar 26°C kemudian suhu naik menjadi 65°C selama 10 jam kedua. Gambar 4 merupakan kebalikan Gambar 3, suhu udara luar dibuat mengalami penurunan. Pada selama 10 jam pertama, suhu dibuat sebesar 26°C, kemudian temperatur menurun sampai -14°C pada 10 jam kedua.

Tiga model variasi suhu udara luar ini akan diaplikasikan ke 2 kontroler yaitu kontrol On-Off, kontrol PID-Simulated Annealing. Efektifitas dari 2 kontroler itu diukur menggunakan kriteria *Integral Time Absolute Error* (ITAE) (Ogata, 2009). Pada kriteria ITAE, salah satu yang menjadi faktor integrasinya adalah waktu. Oleh karena itu, nilai ITAE akan bertambah seiring berjalannya waktu. Nilai ITAE ini dirumuskan seperti pada persamaan (7).

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt \tag{7}$$

- dimana:
- ITAE = *integral time absolute error*.
- t = waktu (s)
- e(t) = nilai eror

**2.3 Desain Kontrol On-Off**

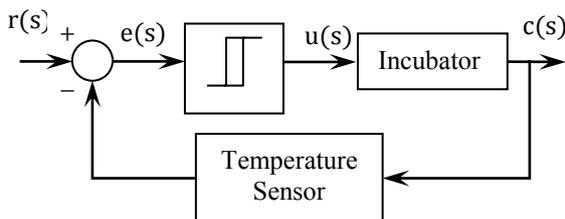
Kontrol On-Off merupakan salah satu jenis kontrol yang banyak digunakan pada kontrol otomatis di industri karena kontrol ini sederhana dan relatif murah. Kontrol on-off banyak diterapkan pada sistem pengontrolan temperatur sistem pemanas, reaktor fermentasi, ruang klimatik, sistem pemanas ruangan, dan sistem tinggi muka cairan. Di rumah tangga, kontrol On-Off juga banyak digunakan seperti pada sistem penampung air, setrika listrik, oven listrik dan pemanas air (Hidayat, Rahmatika, & Syafei, 2018).

Kontrol On-Off pada dasarnya memiliki dua posisi aktuasi, yaitu On dan Off. Dua posisi aktuasi ini akan tergantung pada nilai error yang terjadi. Nilai error ini merupakan selisih antara nilai aktual yang diukur melalui sensor dan nilai referensi yang ditentukan oleh user.

Misalkan sinyal keluaran kontroler adalah  $u(s)$  dan sinyal error adalah  $e(s)$  serta set point adalah  $r(s)$  dan respon sistem adalah  $c(s)$ . Pada kontrol dua posisi, sinyal  $u(s)$  akan tetap pada harga maksimum atau minimum, bergantung pada tanda sinyal error, '1' atau '0' (Hidayat et al, 2018)

Ada dua aspek penting yang harus dipertimbangkan pada pengontrol on-off. Pertama adalah frekuensi osilasi respon yang berpengaruh pada umur ketahanan komponen aktuatur. Kedua adalah amplitudo osilasi respon yang mempengaruhi akurasi pengendalian dan besar rugi-rugi energi pada respon sistem kendali keseluruhan.

Pada penelitian ini, kontrol On-Off digunakan agar nilai suhu aktual sama dengan nilai suhu referensi yang ditentukan, dimana nilai referensi suhu yang ingin dicapai adalah sebesar 35°C. Dalam kontrol On-Off ini, frekuensi osilasi respon akan diabaikan, sedangkan amplitudo osilasi respon harus dijaga agar tidak melebihi 10% dari nilai referensi yang akan dicapai yang mana pada penelitian ini adalah sebesar 35°C. Blok diagram dari kontrol On-Off ini diperlihatkan pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5.** Blok Diagram Kontrol On-Off

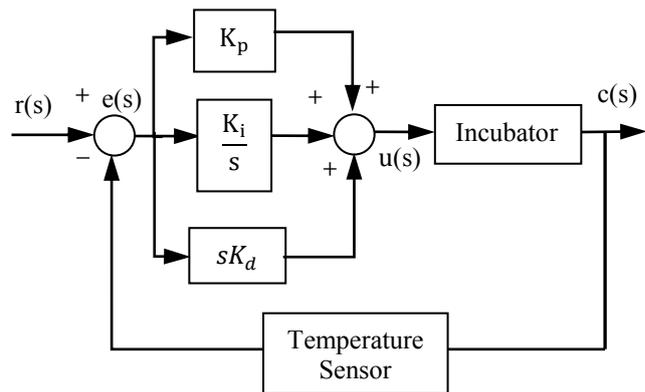
Selisih antara nilai referensi dan nilai aktual yang menjadi input dari kontrol On-Off. Pada penelitian ini, kontrol On-Off akan bernilai maksimum ketika nilai error  $\geq 0.5$  °C, sebaliknya kontrol On-Off akan bernilai minimum ketika nilai error  $\leq -0.5$  °C.

**2.4 Desain PID-Simualted Annealing**

Kontroler PID adalah kontroler berumpan balik yang paling populer di dunia industri. Kontroler PID dapat memberikan performa kontrol yang baik

walaupun mempunyai algoritma sederhana (Wisnu, Wahjudi, & Nurhadi, 2016). Pada awalnya kontrol PID umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog. Bahkan banyak diantaranya direalisasikan dalam komponen mekanis dan pneumatis murni.

Seiring dengan berkembangnya dunia digital maka algoritma kontrol PID dapat direalisasikan kedalam bentuk persamaan PID digital. Yang jika diimplementasikan hanya berupa sebuah program saja yang ditanamkan kedalam embedded system. Blok diagram PID dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



**Gambar 6.** Blok Diagram Kontrol PID

Persamaan dari pengontrol PID dapat ditulis seperti pada persamaan (8).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{8}$$

dimana:

- $u(t)$  : Sinyal Kontrol
- $e(t)$  : Eror Pengukuran
- $K_p$  : Konstanta Proportional
- $K_i$  : Konstanta Integral
- $K_d$  : Konstanta Derivative

Pada penelitian ini, kontrol PID juga digunakan untuk mencapai nilai suhu aktual yang sama dengan nilai suhu referensi. Suhu referensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 35°C. Pemilihan konstanta PID penting sekali dalam proses ini karena akan menentukan bentuk respon sistem. Komponen nilai konstanta P, I, dan D dicari menggunakan metode simulated annealing.

Simulated annealing merupakan salah satu metode metaheuristik yang digunakan untuk masalah optimasi (Samana., Prihandono, & Noviani, 2015) Metode simulated annealing ini dibuat berdasarkan analogi pemrosesan logam. Dalam ilmu metalurgi, proses annealing adalah memanaskan logam untuk merubah sifat logam tersebut, seperti kekerasan atau kekuatannya. Tahapan proses ini diawali dengan memanaskan logam sampai titik leburnya, kemudian mempertahankannya pada temperatur tertentu, lalu didinginkan

Di dalam proses annealing, partikel-partikel dalam zat padat akan bergerak bebas. Kemudian ketika zat itu didinginkan secara perlahan, maka molekul-molekul zat tersebut akan mengatur diri sendiri dengan tingkat energi dasar yang rendah. Algoritma dasar Simulated Annealing adalah sebagai berikut:

Membangkitkan solusi awal  $S$

$T = T_{max}$

While belum memenuhi kriteria berhenti

While kondisi kesetimbangan termal belum tercapai

$$\Delta E = f(S') - f(S)$$

If  $\Delta E \leq 0$

$$S = S'$$

Else

If random  $< \exp(-\Delta E/kbT)$

$$S = S'$$

Endif

Endif

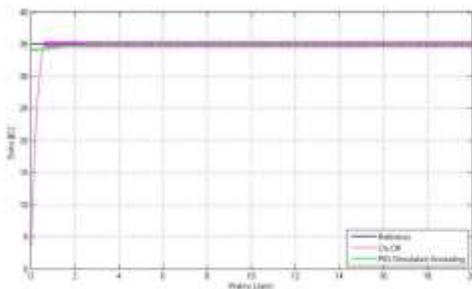
Endwhile

$T = g(T)$

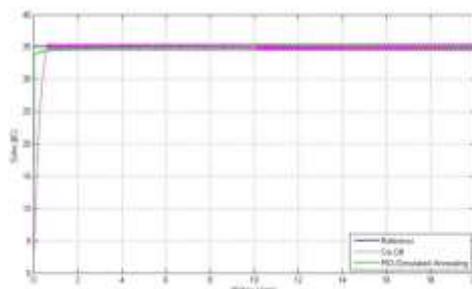
Endwhile

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

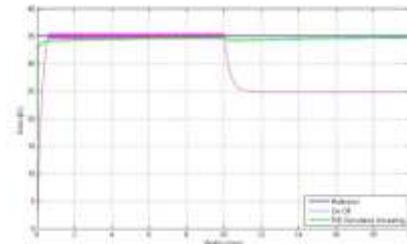
Penelitian ini akan menguji efektifitas 2 kontroler dalam mengatur suhu udara dalam inkubator agar sesuai dengan suhu referensi sekaligus mempertahankan suhu tersebut dari gangguan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi di MATLAB 2014a.



Gambar 7. Hasil Pengujian I



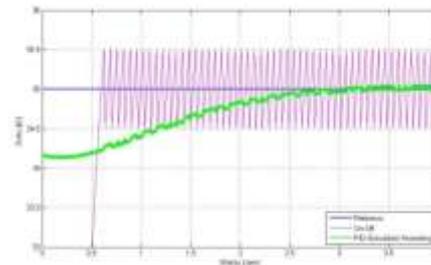
Gambar 8. Hasil Pengujian II



Gambar 9. Hasil Pengujian III

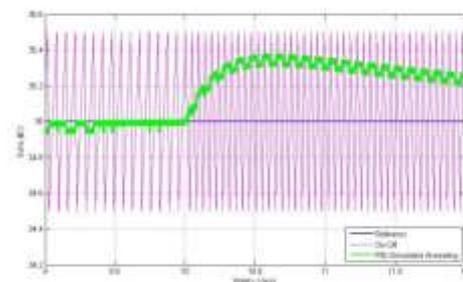
Setelah melakukan simulasi pengujian, maka didapat respon yang ditunjukkan pada Gambar 7, 8 dan 9. Ada tiga respon yang mewakili output terhadap masing-masing gangguan. Tiap respon memiliki tiga gambar yang berbeda, yaitu referensi, respon kontrol On-Off, respon kontrol PID-Simulated Annealing. Ketiga respon tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 sampai 9 di atas.

Pada pengujian I yang ditunjukkan pada Gambar 7 tampak bahwa terjadi osilasi pada respon kontrol On-Off. Osilasi terjadi pada 34.5°C sampai 35.5°C dengan frekuensi osilasi sebesar 15 kali osilasi tiap jam. Sedangkan pada PID- Simulated Annealing, respon sistem langsung menuju ke referensi dan membutuhkan waktu sekitar 2.8 jam. Gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



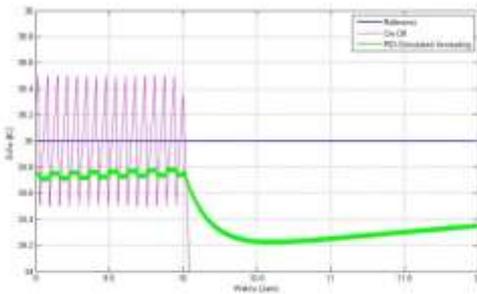
Gambar 10. Hasil Pengujian I yang Diperbesar

Kemudian untuk pengujian II yang ditunjukkan pada Gambar 8 terlihat bahwa kontrol On-Off tetap menghasilkan osilasi seperti pada pengujian sebelumnya, akan tetapi pada pengujian II, frekuensi osilasi bertambah dari 15 kali osilasi tiap jam menjadi 21 kali osilasi tiap jam setelah terjadi gangguan pada jam ke-10. Disisi lain, PID-Simulated Annealing mengalami lonjakan suhu ketika terjadi gangguan sebesar 0.4 °C. Gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Hasil Pengujian II yang Diperbesar

Kemudian, pada pengujian III yang ditunjukkan pada Gambar 3.3, kontrol On-Off tetap berosilasi tetapi pada saat gangguan terjadi, respon sistem menjadi turun drastis sampai pada suhu 25°C. Pada saat yang sama, PID-Simulated Annealing memberikan respon dengan penurunan suhu sebesar 0.8 °C. Gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini.



**Gambar 12.** Hasil Pengujian III yang Diperbesar

Setelah kedua kontroler diuji menggunakan simulasi MATLAB 2014a, maka tahap selanjutnya adalah menghitung nilai ITAE pada respon sistem untuk masing-masing kontroler. Nilai ITAE ini bisa dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai ITAE

Pengujian	Kontroler	
	On-Off	PID-Simulated Annealing
I	50.955	0.4601
II	51.1191	0.8659
III	1502.7	4.3562
<b>Rata-Rata</b>	<b>534.925</b>	<b>1.894</b>

Dari Tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa nilai ITAE PID-Simulated Annealing jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai ITAE pada kontroler On-Off.

**KESIMPULAN**

Pada penelitian ini, ada 2 kontroler yang diuji untuk melihat efektifitas mereka dalam mengatur suhu dalam sebuah inkubator. 2 kontroler tersebut adalah kontrol On-Off, dan kontrol PID-Simulated Annealing.

Pada pengujian ini, kedua kontrol tersebut harus mempertahankan suhu udara di dalam inkubator walaupun suhu udara luar berubah-ubah. Suhu udara luar yang berubah ini menjadi gangguan pada sistem inkubator tersebut.

Hasil menunjukkan bahwa kontrol PID-Simulated Annealing adalah kontrol yang paling efektif dalam mengatur suhu udara inkubator secara presisi dan tahan terhadap gangguan berupa suhu udara luar yang berubah-ubah.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Pertama-tama, penulis ucapkan syukur kepada Allah SWT, karena berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul “Desain Metode PID-Simulated Annealing sebagai Kontrol Temperatur pada Inkubator Bayi”.

Kedua, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi karena telah membiayai penelitian ini. Ketiga, penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Widya Kartika yang telah memberikan sarana dan prasarana dalam penyelesaian penelitian ini.

**PUSTAKA**

Butarbutar, M. H., Sholikhah, S., & Napitupulu, L. H. (2018). *Hubungan Pengetahuan dan Sikap Ibu Tentang Demam dengan Penanganan Demam Pada Anak di Klinik Shanty Medan*. *Jurnal Preventif*, 9(2), 53–57.

Ginting, C. F. & Brahmana, K., (2013). *Perancangan Inkubator Bayi dengan Pengaturan Suhu dan Kelembaban Berbasis Mikrokontroler Atmega8535*, *J. Saintia Fis.*, 6(1):1–8

Harahap, A. M., Kadarsah, R. K., & Oktaliansah, E. (2014). *Angka Kejadian Hipotermia dan Lama Perawatan di Ruang Pemulihan pada Pasien Geriatri Pascaoperasi Elektif Bulan Oktober 2011–Maret 2012 di Rumah Sakit Dr. Hasan Sadikin Bandung Anggita*. *Jurnal Anestesi Perioperatif*, 2(1), 36–44.

Hidayat, N., Iskandar, R. F., & Rokhmat, M. (2015). *Temperature Control Personal Computer Using Liquid Cooling System Based PID Control*. In *International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology*. Bandung. <https://doi.org/10.1109/ICACOMIT.2015.7440199>

Hidayat, D., Rahmatika, M., & Syafei, N. S., (2018). *Analisis Respon Pengontrol On-Off Pada Kendali Umpan Balik Sistem Fisis Elektronik*, *EKSAKTA*, 19(1): 118–124.

Hidayat, D., Rahmatika, M., Syafei, N. S., Tumbelaka, B. Y., (2018). *Simulasi Pengontrol On / Off pada Sistem Kendali Umpan Balik dengan Model Fisis Elektronik*, *TELKA*, 4(1):43–53

Madyanto, T. D., Santoso, I., & Setiawan, I. (2010). *Pengendalian Suhu Menggunakan Metode Fuzzy-PID pada Model Sistem Hipertermia*. *TRANSMISI*, 12(1), 21-26

Mathworks, “Thermal Model of a House,” 2020. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/thermal-model-of-a-house.html>. [Accessed: 05-Apr-2020].

Mittal, H., Mathew, L., & Gupta, A. (2015). *Design and Development of an Infant Incubator for Controlling Multiple Parameters*. *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*, 11(5), 65–72.

- Nisha, Z. A., & Elahi, A. H. . F. (2014). *Low Cost Neonatal Incubator with Smart Control System*. In International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Applications (SKIMA) (pp. 1–5). <https://doi.org/10.13140/2.1.4591.5201>
- Ogata. K., *Modern Control Engineering*, Fifth. Prentice Hall, 2009
- Rizqiani, R. F., & Yuliana, L. (2017). *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kematian Bayi Prematur di Indonesia*. Jurnal Ilmiah WIDYA Kesehatan Dan Lingkungan, 1(2), 135–141.
- Samana, E., Prihandono, B., & Noviani, E. (2015). *Aplikasi Simulated Annealing untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem*. Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya, 3(1):25-32
- Saria, T. W., & Syarif, S. (2016). *Hubungan Prematuritas dengan Kematian Neonatal di Indonesia Tahun 2010 (Analisis Data Riskesdas 2010)*. Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia, 1(1), 9–14.
- Sariati, Y., Nooryanto, M., & Anggraini, P. D. A. (2017). *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, 1(2), 50–57.
- Secretariat, T. A. (2017). *ASEAN Statistical Report on Millennium Development Goals 2017*. Jakarta.
- Utami, N. R., Handayani, I., & Iskandar, R. F. (2017). *Kontrol Suhu dan Analisis Transfer Panas Konveksi Pada Central Processing Unit (CPU)*. Jurnal E-Proceeding of Engineering, 4(1), 726–735.
- Wahab, F., Sumardiono, A., Tahtawi, A. R. A., Mulayari, A. F. A., *Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan*. Jurnal Teknologi Rekayasa. 2(1):1-8
- Wisnu, D., Wahjudi, A., and Nurhadi H. (2016), *Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-gun Kaliber 20 mm*, J. Tek. ITS, 5(2):512–516
- Wulandari, D. A., & Utomo, I. H. (2017). *Responsivitas Dinas Kesehatan Kabupaten Karanganyar dalam Upaya Menurunkan Angka Angka Kematian Ibu (AKI) dan Angka Kematian Bayi (AKB) di Kabupaten Karanganyar*. Jurnal Wacana Publik, 1(3): 40–49