

MIKROKONTROLER SISTEM HYBRID UNTUK PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN INKUBATOR BAYI

Andrian Indra Pranata, W. Widhiada, W. Bandem Adnyana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pesatnya pertumbuhan teknologi di Indonesia terutama pada bidang kesehatan sangatlah menarik untuk di ikuti. Namun angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan permasalahan yang menghantui negara ini. Salah satu faktor penyumbang tingginya angka kematian bayi di Indonesia adalah kematian bayi yang lahir secara prematur. Bayi yang lahir secara prematur memerlukan perawatan khusus, terutama dalam menjaga suhu lingkungan disekitarnya yang berkisar antara 35°C-36°C. Dengan menggunakan Inkubator hal tersebut dapat dicapai. Inkubator bayi merupakan alat pencegah hipotermi (kondisi kesulitan untuk mengatur suhu tubuh yang berujung kesulitan mengatasi tekanan suhu dingin) pada bayi yang baru lahir terutama bayi premature dengan cara menghangatkan suhu ruangan dan bayi agar dapat mempertahankan suhu badan bayi normal (Harseno, 2017). Dalam penelitian kali ini, dilakukan pemodelan inkubator dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan 2 mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi satu sama lain dan peneliti akan menerapkan sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic yang dirangkai secara Hybrid dengan bantuan software Matlab dan Arduino.ide. Menggunakan parameter suhu dengan set point 36°C dan kelembaban dengan range RH 60-80%. Dengan target suhu signal error pada sistem $\leq 5\%$ dan suhu maximum overshoot sistem $\leq 5\%$. Hasil dari penelitian ini didapatkan signal error rata-rata = 0,0462% dan maximum overshoot = 0,83378% pada pengujian tanpa beban. Didapatkan signal error rata-rata = 0,018202% dan maximum overshoot = 1,36083% pada pengujian dengan beban 2 Kg.

Kata kunci : Bayi Prematur, Inkubator Bayi, Mengatur Suhu, PID, Fuzzy Logic, Hybrid

Abstract

The rapid growth of technology in Indonesia, especially in the health sector, is very interesting to follow. Even so, the infant mortality rate in Indonesia is still a problem that haunts this country. One of the factors contributing to the high infant mortality rate in Indonesia is the death of babies born prematurely. Babies born prematurely require special care, especially in maintaining the ambient temperature in the range of 35°C-36°C. By using the Incubator this can be achieved. The baby incubator is a means of preventing hypothermia (a condition of difficulty regulating body temperature which leads to difficulty coping with cold pressure) in newborns, especially premature babies by warming the room temperature and the baby in order to maintain a normal baby's body temperature (Harseno, 2017). In this study, modeling of an incubator with an Arduino Mega 2560 microcontroller and 2 Arduino Uno microcontrollers is carried out which is integrated with each other and the researcher will implement a PID control system and Fuzzy Logic which is arranged in a Hybrid manner with the help of Matlab and Arduino.ide software. Using temperature parameters with a set point of 36°C and humidity with a RH range of 60-80%. With the target temperature signal error on the system $\leq 5\%$ and the maximum system overshoot temperature $\leq 5\%$. The results of this study obtained an average signal error = 0.0462% and maximum overshoot = 0.83378% in the no-load test. The average signal error = 0.018202% and maximum overshoot = 1.36083% in the test with a load of 2 Kg.

Keyword : Babies Born Prematurely, Incubator, Temperature Control, PID, Fuzzy Logic, Hybrid

1. Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan teknologi di Indonesia terutama pada bidang kesehatan sangatlah menarik untuk di ikuti. Namun angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan permasalahan yang menghantui negara ini. Angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan salah satu yang tertinggi apabila dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lainnya [1]. Salah satu faktor penyumbang tingginya angka kematian bayi di Indonesia adalah kematian bayi yang lahir secara prematur. Bayi yang lahir secara prematur memerlukan perawatan khusus, terutama dalam menjaga suhu lingkungan disekitarnya yang berkisar antara 35°C-36°C. Dengan menggunakan Inkubator hal tersebut dapat dicapai.

Inkubator bayi merupakan alat pencegah hipotermi (kondisi kesulitan untuk mengatur suhu tubuh yang berujung kesulitan mengatasi tekanan suhu dingin) pada bayi yang baru lahir terutama bayi premature dengan cara menghangatkan suhu ruangan dan bayi agar dapat mempertahankan suhu badan bayi normal [2].

Sejak tahun 1990-2003, angka kematian bayi mengalami penurunan angka kasus kematian. Namun dalam jangka waktu 10 tahun terakhir ini, terjadinya perlambatan penurunan angka tersebut. Hal tersebut mengakibatkan Indonesia semakin jauh untuk mencapai target yang sudah ditetapkan Millenium Development's Goal 2015, yaitu menurunkan angka kematian anak dari tahun 1990-2015 sebesar dua per

tinganya. Indonesia memiliki target sebesar 23 kematian per 1000 kelahiran hidup di tahun 2015 untuk angka kematian anak. Namun, hasil Standar Diagnosis Keperawatan Indonesia 2012 menunjukkan bahwa kematian bayi di Indonesia baru mencapai 32 kematian per 1000 kelahiran hidup [3]. Pada saat ini beberapa Puskesmas yang berada di daerah pedesaan atau daerah-daerah terpencil masih menggunakan inkubator yang bersifat manual, dimana perawat harus selalu memantau angka di thermometer yang berada didalam inkubator. Kemungkinan terjadi nya kelalaian atau *human error* dapat menurunkan kualitas perawatan bayi prematur. Oleh karena itu, perealisasi inkubator yang dapat mengatur suhu dan kelembaban dalam inkubator secara otomatis sangatlah diperlukan. Dengan harapan dapat meminimalisirkan *human error* dan dapat membantu menurunkan angka kematian bayi di Indonesia.

Penelitian sebelumnya [4] tentang Kontrol Distribusi Temperatur untuk Sistem Inkubator Bayi Berbasis Arduino ATmega 2560. Dalam penelitiannya menggunakan elemen pemanas sebagai sumber panasnya dengan penerapan kontrol *on/off* membutuhkan waktu 400 detik untuk mencapai suhu 36°C.

Dalam penelitian kali ini, dilakukan pemodelan inkubator dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan 2 mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi satu sama lain dan peneliti akan menerapkan sistem kontrol PID dan *Fuzzy Logic* yang dirangkai secara *Hybrid* dengan bantuan *software Matlab* dan *Arduino.ide*. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen, menggunakan *Simulink* yang merupakan bagian dari *Matlab* untuk pemodelan sistem kontrol *Hybrid* yang diinginkan. Dengan adanya sistem kontrol Hybrid yang sudah di rancang diharapkan dapat mengatur suhu inkubator agar tetap stabil yaitu 36° C dan kelembaban 60-75% RH. Dalam sebuah rekayasa kontrol, kontrol PID merupakan salah satu jenis kontrol yang sering digunakan. Kendali PID merupakan kombinasi dari tiga macam kendali yaitu Proportional, Integral, dan Derivative [5]. Logika fuzzy merupakan salah satu cara pemetaan sebuah ruang masukan kedalam sebuah ruang keluaran [6]. Dengan menggabungkan 2 sistem kontrol diatas menjadi sistem *hybrid* dapat diharapkan inkubator dapat mencapai *set-point* suhu dan kelembaban yang ditargetkan dengan lebih cepat dan stabil. Penerapan mikrokontroler dengan system *hybrid* ini akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah menggunakan PID dan *Fuzzy Logic* secara independen.

2. Dasar Teori

2.1 Inkubator Bayi

Pada rumah sakit ataupun puskesmas, sebuah inkubator bayi merupakan salah satu alat medis yang sangat dibutuhkan untuk menjaga suhu seorang bayi agar terjaga pada suhu yang nyaman, terutama pada

bayi yang lahir secara prematur. Bayi prematur merupakan bayi yang baru dikandung selama 37 minggu namun sudah harus dilahirkan karena terjadinya kelahiran prematur dan memiliki berat badan kurang dari 2,5 Kg. Oleh karena itu bayi prematur sangat memerlukan inkubator bayi untuk membantu menjaga suhu tubuhnya yang cenderung belum stabil. Bayi prematur beresiko mengalami hipotermia (suhu tubuh yang rendah) karena pada bayi prematur keadaan jaringan lemak di bawah kulit kurang atau masih tipis [7].

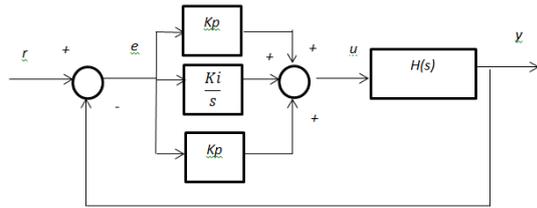
Pada umumnya inkubator bayi terdiri dari 2 bagian utama, yaitu boks atas dan boks bawah. Pada boks atas terdapat sensor suhu dan tempat bayi untuk tidur. Sementara pada boks bagian bawah terdapat heater untuk pemanas, kontroler, kipas dan lcd untuk membaca suhu pada inkubator.

2.2 Kontrol PID

Kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah sistem kontrol yang paling banyak di adopsi dalam industri sampai saat ini karena harga yang sangat menguntungkan (Korsane et.al, 2014). Kontrol PID merupakan kontrol gabungan yang terdiri dari 3 kontrol, yakni kontrol P (Proportional), kontrol I (Integral), dan kontrol D (Derivative). Menentukan keakuratan atau presisi sebuah sistem dalam bentuk umpan balik (*feedback*) merupakan salah satu fungsi dari kontrol PID. Dalam perancangan kontrol PID perlu dilakukan pengaturan parameter dari setiap kontrol agar tanggapan sinyal yang keluar dari sistem terhadap masukan (input) tertentu sesuai dengan yang diinginkan. Tujuan penggabungan control ini adalah menyatukan kelebihan dari masing-masing kontrol guna mendapatkan kontrol yang ideal, adapun kelebihanannya sebagai berikut :

1. Sistem kontrol proporsional memiliki keunggulan dimana waktu naik yang dicapai cukup cepat.
2. Sistem kontrol integral lebih unggul dalam meminimalisir error
3. Sistem kontrol derivatif memiliki keunggulan dalam meredam d_error serta meredam overshoot/undershot.

Dalam sebuah sistem $H(s)$ yang linier dalam fungsi waktu, merupakan sistem dimana kontrol PI dan PID yang merupakan sistem kontrol gabungan dapat digunakan. Dengan kata lain, persamaan dinamik $H(s)$ relative tidak mengalami perubahan selama rentang waktu pengontrolan. Diagram kombinasi control PID dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Kontrol PID

2.3 Analisa Transient-Response

Dalam menganalisa dan mendesain sebuah sistem kontrol, sebuah pembanding untuk sistem kontrol tersebut diperlukan untuk dilakukan suatu perbandingan. Pada dasarnya hal ini dapat dilakukan dengan sebuah sinyal uji tertentu dan responnya dibandingkan dengan sinyal-sinyal masukkan sistem kontrol tersebut. Fungsi tangga, fungsi ramp, fungsi percepatan, fungsi impuls, dan fungsi sinusoida merupakan contoh dari beberapa test input signal (sinyal input uji) yang dapat digunakan. Dengan melakukan uji sinyal analisa matematik dan eksperimen pada sistem kontrol dapat dilakukan dengan mudah dan cukup simpel karena sinyal-sinyal ini berbentuk fungsi waktu sederhana.

Saat sebuah sistem kontrol didesain berbasis dengan sinyal uji, performa sebuah sistem bereaksi terhadap suatu respon masukan yang nyata akan menghasilkan hasil yang diinginkan. Penggunaan sinyal uji memungkinkan performasi semua sistem dengan *basic* yang sama [8].

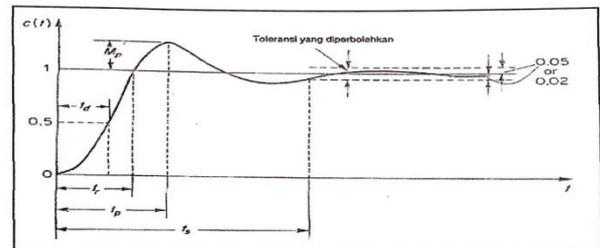
Menguji sistem transient respon harus dilakukan untuk menganalisa sistem kontrol, seperti berapa waktu yang diperlukan sebuah sistem untuk mencapai titik tertentu didalam sistem tersebut. Respon transient suatu sistem terhadap *input step* bergantung kepada kondisi awal sebuah respon. Tindakan yang perlu dilakukan untuk membandingkan karakteristik respon yaitu menggunakan syarat awal standar menggunakan respon awal dari nol.

Dalam menentukan karakteristik respon sebuah transient sistem kontrol terhadap *step input*, berikut adalah beberapa parameter yang dapat ditentukan:

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal menyentuh setengah dari harga maksimumnya
2. Waktu naik (*rise time*), t_r . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal menyentuh harga penuhnya (100%)
3. Waktu puncak (*peak time*), t_p . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal melewati harga penuhnya (diatas 100%)
4. Lewatan maksimum (*maximum overshoot*), M_p . merupakan nilai pucuk

kurva yang diukur diatas penuh (100%). Apabila nilai tidak mencapai 1 (100%) maka perhitungan menggunakan persentase maksimumnya.

5. Waktu penetapan (*settling time*), t_s merupakan waktu respon sinyal telah mencapai kestabilan pada harga yang ditentukan. Toleransi dari osilasi sinyal pada waktu ini tergantung pada ketentuan yang disetujui.



Gambar 2. Karakteristik respon transient

2.4 Fuzzy Logic

Menurut [6], Logika fuzzy adalah sebuah langkah pemetaan sistem masukan ke dalam sebuah sistem keluaran. Berikut beberapa aplikasi dilapangan:

1. Manajer sebuah gudang memberikan list barang yang tersisa untuk minggu ini, yang kemudian diproses oleh manajer produksi untuk memproduksi barang untuk minggu depan.
2. Pelayan restoran yang memberikan sebuah pelayanan yang baik, akan diberikan tip oleh pelanggannya.
3. Anda ingin sebuah ruangan ber AC memiliki temperatur tertentu, kemudian anda memberitahu saya untuk mengubah suhu AC di ruangan tersebut.
4. Penumpang grab car memberitahukan kepada sopir grab seberapa cepat laju mobilnya melaju, kemudian sopir grab akan mengatur banyak tidaknya gas yang ia injak.

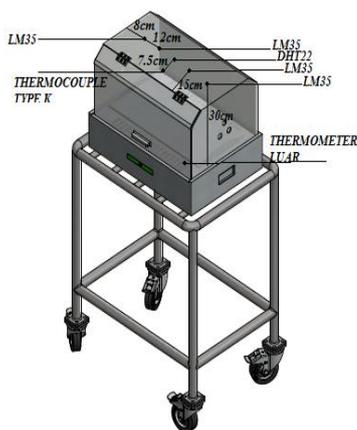
Mengenai logika fuzzy pada dasarnya ada sebuah daerah samar atau fuzzy pada satuan 0 sampai dengan 1 pada sebuah proses (tidak binari). Operasi guna memodifikasi atau/dan menggabung himpunan fuzzy adalah suatu operasi dasar himpunan fuzzy. Salah satu aturan jika-maka, dimana pengaturan yang digunakan dalam suatu pernyataan itu diatur oleh sebuah fungsi keanggotaannya merupakan aturan (rule) if-then pada fuzzy logic. Dalam penggunaan sebuah logika fuzzy dalam sistem, ada berbagai faktor yang harus ditinjau dahulu seperti misalnya cara mengolah sebuah masukan sistem menjadi sebuah keluaran dari sistem melalui metode inferensi fuzzy. Metode inferensi fuzzy merupakan sebuah proses penempatan *input* kepada *output* sebuah sistem. Fungsi keanggotaan, aturan jika-maka, dan operasi logika dipergunakan dalam menentukan proses tersebut. FIS (Fuzzy Inferensi System)

merupakan sistem yang dihasilkan dari proses-proses tersebut. Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto merupakan beberapa FIS yang terdapat didalam logika fuzzy.

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Pada perancangan inkubator ini terdapat dua bagian utama yaitu bagian box atas dan bagian box bawah inkubator. Pada unit bagian bawah box terdiri dari board Arduino Uno, Arduino Mega 2560, lampu pijar, relay, servo, adaptor, dan fan. Sedangkan bagian atas inkubator terdiri dari sensor suhu DHT 11, sensor suhu LM 35, matras inkubator, dan tutup inkubator. Ukuran geometri inkubator memiliki lebar = 45 cm, tinggi = 45 cm dan panjang = 65 cm. Pemilihan dimensi ukuran inkubator bayi yang digunakan berdasarkan ukuran bayi premature yang memiliki tinggi badan sekitar 46 – 53 cm. Pemilihan dimensi ukuran inkubator untuk penelitian saat ini dipilih karena ukuran inkubator pada penelitian sebelumnya dianggap cukup besar, sehingga perlu dilakukan pengecilan dimensi ukuran.



Gambar 3. Model *prototype* inkubator

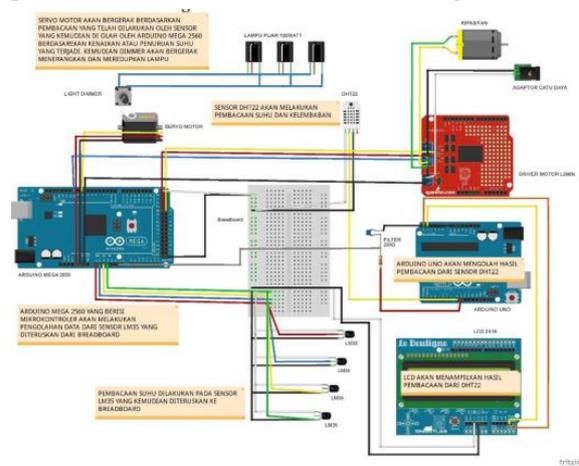
3.2 Alat dan Instrumen Penelitian

Adapun alat dan instrumen penelitian *prototype* inkubator bayi sebagai berikut :

1. Adaptor
2. Akrilik
3. Board Arduino Mega 2560
4. Board Arduino Uno
5. Driver motor L298N
6. Filter
7. Kipas DC
8. Lampu pijar 100 watt 3 buah
9. LCD berukuran 2x16
10. *Light Dimmer*
11. Multiplex
12. Sensor suhu dan kelembaban DHT22
13. Sensor suhu LM35
14. *Servo motor*
15. *Thermocouple* tipe K

3.3 Skematik Rancangan Mikrokontroler

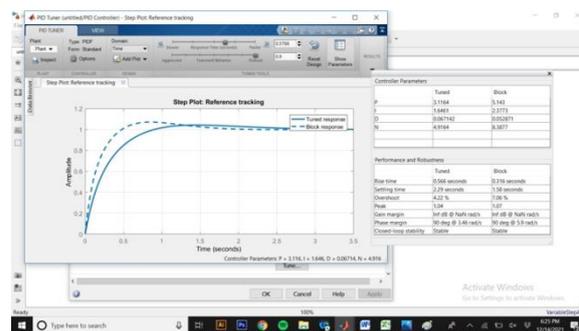
Dari gambar skematik suhu yang dibaca oleh sensor LM35 memberikan daya listrik kecil yang akan dibaca oleh Arduino Mega 2560 berupa signal analog, yang kemudian akan di proses oleh mikrokontroler hybrid yang sudah di program di dalam Arduino Mega 2560 yang kemudian sinyal output nya akan diteruskan menuju servo yang akan memutar light dimmer untuk menaikkan atau menurunkan suhu melalui intensitas cahaya lampu. Sementara itu untuk sensor DHT22 akan membaca suhu dan kelembaban yang berupa signal digital yang akan diproses oleh Arduino UNO R3 yang kemudian diteruskan menuju LCD 2X16 menampilkan pembacaan suhu dan kelembaban di ruang inkubator.



Gambar 4. Gambar skematik mikrokontroler

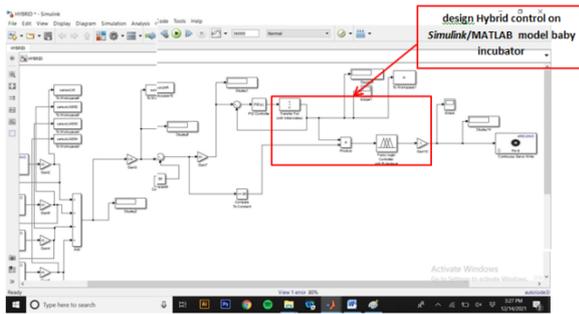
3.4 Rancangan Model Simulink Pada MATLAB

Pada rancangan model Simulink ini dibantu dengan software MATLAB. Dengan cara menghubungkan blok-blok yang diperlukan untuk sistem kontrol pada software simulink pin-pin yang sesuai dengan alat hardware yang digunakan pada inkubator.



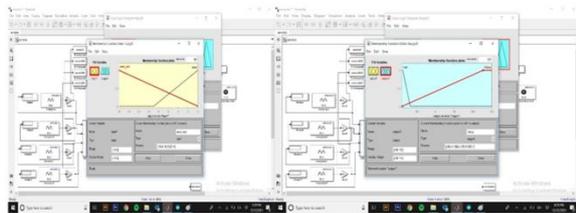
Gambar 5. PID Tuner Pada Blok PID Controller

Pada blok PID tuner, hal yang harus dilakukan adalah menggeser slider Response Time dan Transient Behaviour untuk mendapatkan parameter Kp, Ki dan Kd yang diinginkan. Jika sudah mendapatkan parameter yang diinginkan maka update blok PID Controller dengan parameter yang baru. Dimana parameter baru yang didapatkan disini $K_p = 3,116$, $K_i = 1,646$ dan $K_d = 0,067$.



Gambar 6. Kontrol Hybrid pada model Simulink/MATLAB

Pada model simulink di gambar 6 terlihat sistem kontrol hybrid yang menggabungkan sistem kontrol PID menggunakan PID tuner dengan *Fuzzy Logic Control*.

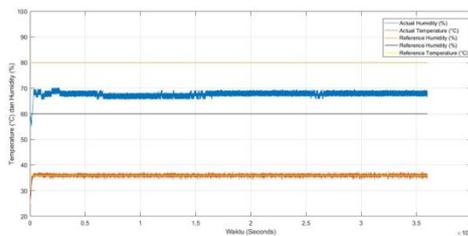


Gambar 7. Fuzzy Logic Control

4. Hasil dan Pembahasan

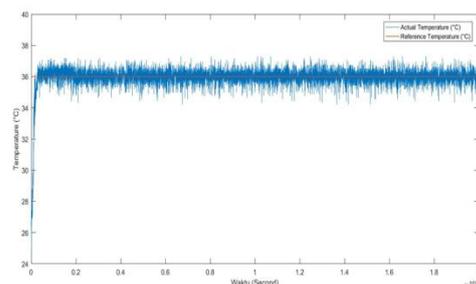
Penelitian dilakukan dengan menggunakan set point suhu pada 36°C dengan waktu selama 36.000 detik. Dilakukan 2 pengujian yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban 2 Kg. Pengkondisian kelembaban pada ruang inkubator menggunakan range 80 %-60% RH.

4.1 Analisa Pengujian *Prototype* Inkubator Tanpa Beban



Gambar 8. Grafik hubungan suhu dan kelembaban pengujian tanpa beban

Dapat dilihat pada gambar 8 bahwa grafik mengalami kenaikan suhu dari suhu awal hingga mencapai suhu set point 36°C yang kemudian mencapai kestabilan.

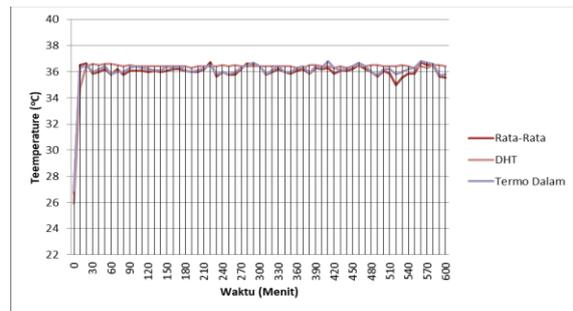


Gambar 9. Analisa respon sistem pengujian tanpa beban

Analisa respon sistem pengujian *prototype* inkubator bayi tanpa beban . Adapun parameternya yang dapat dilihat dibawah ini:

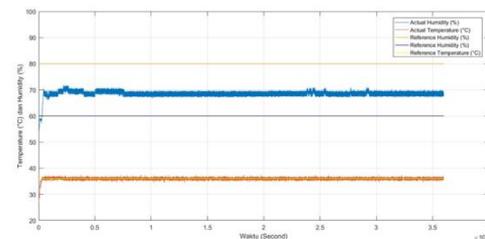
1. Waktu tunda (t_d) = 98s
2. Waktu naik (t_r) = 184s
3. Waktu puncak (t_p) = 194s
4. Lewatan maksimum (M_p) = $\frac{PV-SV}{SV} \times 100\% = \frac{36,3002-36}{36} \times 100\% = 0,83378\%$.
5. Waktu penetapan (t_s) = 272s
6. *Error signal* (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{4874,27}{36001} = \frac{0,016632}{36} \times 100\% = 0,0462\%$

Pada ruang inkubator dilakukan pengukuran dengan menggunakan sensor LM 35, DHT 22 dan termometer ruangan yang dapat dilihat grafik korelasi ketiga alat ukur tersebut pada gambar 10. Terlihat bahwa sensor LM 35 mengalami osilasi yang cukup signifikan, dikarenakan sensor tersebut memiliki sensitifitas yang paling tinggi diantara ketiga alat ukur tersebut.



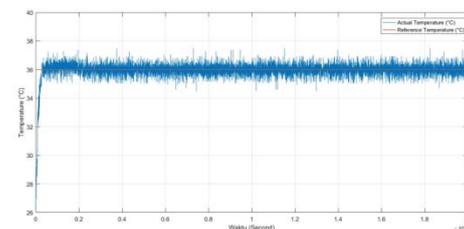
Gambar 10. Korelasi sensor

4.2 Analisa pengujian *prototype* incubator dengan beban



Gambar 11. Grafik hubungan suhu dan kelembaban pengujian dengan beban

Pada gambar 11 terlihat kenaikan grafik dari suhu awal hingga mencapai set point, yang kemudian mengalami kestabilan. Kelembaban juga mengalami kestabilan pada range 80 %-60% RH.

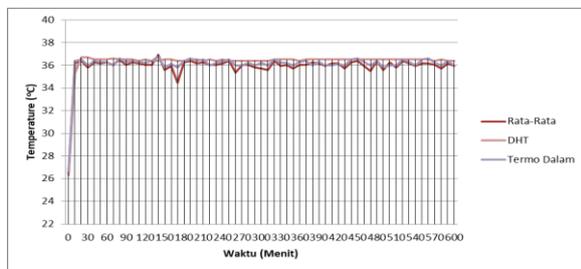


Gambar 12. Analisa respon sistem

Pada gambar 12 dapat dilihat analisa respon sistem pada pengujian prototype inkubator bayi dengan pemberian beban 2 kg. Adapun parameternya yang dapat dilihat dibawah ini:

1. Waktu tunda (td) = 86s
2. Waktu naik (tr) = 275s
3. Waktu puncak (tp) = 290s
4. Lewatan maksimum (Mp) = $\frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{36,4899-36}{36} \times 100\% = 1,36083\%$.
5. Waktu penetapan (ts) = 301s
6. Error signal (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{235,9100}{36001} = \frac{0,0065531}{36} \times 100\% = 0.018202\%$

Untuk hasil pengukuran pada ruang inkubator dengan menggunakan sensor suhu DHT22, sensor LM35 dan termometer ruang diperoleh grafik yang dijabarkan pada gambar 13. Sensor LM 35 dan termometer luar mengalami osilasi yang lebih signifikan dibandingkan dengan sensor DHT 22.



Gambar 13. Korelasi sensor

4.3 Penggunaan Tabel Psikometri Pada Inkubator Bayi

Tabel psikometri disini akan digunakan untuk melihat specific volume (Spv) dan enthalpy (H). Dry Bulb Temperature dan Relative Humidity yang digunakan untuk mendapatkan nilai Spv dan H pada tabel psikometri diambil pada titik titik teretentu pada penelitian, yaitu pada detik ke-0, delay time (td), rise time (tr), peak time (tp), settling time (ts) dan detik ke-36000.

Tabel 1. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data tanpa beban

Waktu	Dry Bulb Temperature (Tdb)	Relative Humidity (RH)	Enthalpy (H)	Specific Volume (Spv)
0	26.67 °C	57.75%	59.12 kJ/kg	0.867 m³/kg
98	31.81 °C	56%	74.54 kJ/kg	0.887 m³/kg
184	36.08 °C	59.50%	94.86 kJ/kg	0.908 m³/kg
194	36.3 °C	60.50%	96.32 kJ/kg	0.909 m³/kg
272	36.3 °C	64.50%	100.45 kJ/kg	0.912 m³/kg
36000	35.53 °C	66.75%	99.12 kJ/kg	0.909 m³/kg

Tabel 2. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data dengan beban

Waktu	Dry Bulb Temperature (Tdb)	Relative Humidity (RH)	Enthalpy (H)	Specific Volume (Spv)
0	26.45 °C	54.00%	56.34 kJ/kg	0.865 m³/kg
86	31.03 °C	58.50%	73.7kJ/kg	0.885 m³/kg
275	36.04 °C	59.50%	94.2 kJ/kg	0.908 m³/kg
290	36.48 °C	60.50%	97.14 kJ/kg	0.910 m³/kg
301	36.37 °C	61.00%	97.20 kJ/kg	0.909 m³/kg
36000	35.93 °C	68.50%	102.77 kJ/kg	0.912 m³/kg

Dengan menggunakan tabel psikometri, dapat dilihat enthalpy dan energi yang diperlukan untuk perubahan suhu yang terjadi didalam inkubator bayi.

5. Kesimpulan

Dari penelitian Yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan penambahan kontrol Hybrid dengan menggabungkan sisem kontrol PID Tuning dengan Fuzzy Logic pada model Simulink/MATLAB prototype inkubator bayi maka didapat nilai rata-rata tanpa beban error $\bar{e} = 0,0462\%$ dan dengan beban 2 kg didapat nilai rata-rata sinyal error $\bar{e} = 0,018202\%$
2. Dengan penambahan kontrol Hybrid dengan menggabungkan sisem kontrol PID Tuning dengan Fuzzy Logic pada model Simulink/MATLAB prototype inkubator bayi tanpa beban diperoleh Mp (Maximum Overshoot) = 0,8338% dan yang menggunakan beban 2kg diperoleh Mp (Maximum Overshoot) = 1,36083%
3. Dengan menggunakan kontrol sistem Hybrid mencapai keadaan (settling time), ts pada detik ke-272 saat pengujian prototype inkubator tanpa beban, kemudian pada pengujian menggunakan beban 2 kg sistem mencapai keadaan settling time pada detik ke-301
4. Dengan melakukan pembacaan tabel psikometri dapat dilihat berapa energy dan enthalpy yang diperlukan untuk berubah nya suhu dalam ruang prototype inkubator bayi.

Daftar Pustaka

[1] Wijayanti, Anisa Catur., Widayanti, Deny Ari. 2018. *Faktor-Faktor yang Ber- hubungan dengan Kematian Bayi di Kabupaten Boyolali*. The 7th University Research Colloquium 2018.

[2] Harseno, Ahmad. R. 2017. *Desain Inkubator Bayi dengan Konsep Harga Terjangkau*. Tugas Akhir. Jurusan Desain Produk Industri Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

[3] Yuliana, Lia., Rizqiani, Ratu Fani. 2017. *Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kematian Bayi Prematur Di Indonesia*.

[4] Widhiada, W., Negara, D. N. K. P., Suryawan, P. A. 2017. **Temperature Distribution Control for Baby Incubator System Using Arduino ATmega 2560**. International Journal. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. Vol. 11. No. 10. 2017.

- [5] Rosalina, Qosim, Ibnu., Mujirudin, Mohammad. 2017. *Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)*. Seminar Nasional TEKNOKA
- [6] Puspita, Ema. S. dan Yulianti L. 2016. *Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Fuzzy Logic*. Jurnal. Jurnal Media Infotama. Vol. 12. No.1. 01 Februari 2016. ISSN: 1858-2680.
- [7] Lapono, Laura A. S. 2016. *Sistem Pengontrolan Suhu Dan Kelembaban Pada Inkubator Bayi*. Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya (2016).
- [8] Widhiada. W. 2004. *Bahan Ajar Teknik Kontrol*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Udayana. Denpasar.

	<p>Andrian Indra Pranata Menyelesaikan Studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana Pada Tahun 2022.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan sistem kontrol dan topik apapun yang berkaitan dengan Robotika.</p>	