

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL SUHU DAN KELEMBABAN PADA INKUBATOR BAYI DENGAN MODUL THERMOELECTRIC DAN METODE FUZZY LOGIC

Design of Temperature and Humidity Control System In Infant Incubator with Thermoelectric Module and Fuzzy Logic Method

Komang Suchy Suparsa¹, Ir. Porman Pangaribuan, M.T.², Rheza Faurizki Rahayu, S.T., Eng.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹komangsuchysuparsa@gmail.com,²,

Abstrak

Bayi yang lahir prematur harus dirawat dengan inkubator, sebab pengaturan suhu tubuhnya belum stabil dan dia akan gampang kedinginan. Inkubator bayi yang ada di pasaran menggunakan kontrol on-off pada sistem pemanasnya untuk mengendalikan suhu dalam inkubator. Proses ini tentunya membutuhkan daya yang cukup besar untuk menghidupkan dan mematikan pemanas secara terus-menerus. Pengaplikasian kontrol suhu menggunakan metode *fuzzy logic* diharapkan dapat mengatasi masalah yang terjadi pada kontrol on-off inkubator bayi. Penelitian tugas akhir ini menggunakan *plant* berupa modul *thermoelectric* sebagai elemen pemanas inkubator. Dengan menggunakan termoelektrik energi listrik dapat dirubah menjadi energi kalor, sehingga dapat digunakan sebagai *heater* inkubator. Suhu dalam inkubator diukur dengan sensor SHT-11 dan digunakan (hasil ukur) sebagai masukan untuk mikrokontroler. Selain masukan dari sensor digunakan juga data masukan (*set point*) untuk mendapatkan suhu dan kelembaban yang diinginkan. Dengan menggunakan metode *fuzzy logic* masukan yang samar (tidak pasti) dapat menghasilkan keluaran yang pasti. Pada penelitian ini, inkubator bayi dapat menghasilkan suhu stabil sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan yaitu 32°C, 33°C, 34°C, dan 35°C serta kelembaban pada rentang 55% -65% RH. Dengan konsumsi energi 24,959 Wh pada *setpoint* 32°C, 25,708 Wh pada *setpoint* 33°C, 28,809 Wh pada *setpoint* 34°C, dan 31,191 Wh pada *setpoint* 35°C.

Kata kunci : Inkubator bayi, modul *thermoelectric*, SHT-11.

Abstract

The babies who born prematurely must be treated with an incubator, because adjustment of the body was not unstable and easy to suffer from cold. The baby incubator on the market usually using on-off control on the heating system to controlled temperature in the incubator. Certainly, this process needed more power to turn on and turn off heater continuously. By expected using fuzzy logic to controlled temperature, it can resolve the problem which happened on on-off controlled to baby incubator. This final project using a modul thermoelectric as a incubator heater element. By using thermoelectric, the electrical energy can be modified into a heat energy, so that can be used as incubator heater. The temperatur on incubator can be measured by SHT-11 sensor and the result from the sensor used as input for microcontroller. Beside a sensor, we also using set point to get the temperature and humidity that we want. With using fuzzy logic, it can be generated an absolute output. In this final project, the baby incubator can be generated a stable temperature according to the setpoint which's 32°C, 33°C, 34°C, 35°C and also the humidity on 55% until 65% RH. The results are consuming 24,959 Wh on setpoint 32°C, 25,708 Wh on setpoint 33C, 28,809 Wh on setpoint 34C and 31,191Wh on setpoint 35C.

keywords : baby incubator, thermoelectric module, SHT-11

1. PENDAHULUAN

Salah satu hal yang sering menyebabkan suhu bayi rendah adalah kelahiran prematur. Menurut data WHO pada 2013, ada 15 bayi prematur dari 100 kelahiran di Indonesia. Indonesia bahkan menempati urutan kelima terbesar di dunia yang angka kelahiran prematurnya masih tinggi. Kelahiran prematur biasanya membuat berat badan bayi lahir rendah. Hal ini membuat bayi tidak memiliki cadangan lemak yang cukup untuk menghangatkan tubuhnya.^[1] Inkubator merupakan suatu wadah tertutup yg kehangatan lingkungannya dapat diatur dengan cara memanaskan udara dengan suhu tertentu yg berfungsi untuk menghangatkan bayi. Inkubator Bayi membutuhkan suhu yang stabil agar kondisi dalam inkubator tetap terjaga sesuai dengan set point. Aturan suhu inkubator disesuaikan umur dan berat bayi yang dapat dilihat pada tabel 1.1.^[2]

Tabel 1.1: Aturan Suhu Inkubator Bayi Sesuai Umur dan Berat Bayi. ^[2]

Berat Badan	Umur	Suhu
<1500 gram	1-10 hari	35 °C
	11 hari - 3 minggu	34 °C
	3 - 5 minggu	33 °C
	> 5 minggu	32 °C
1500 - 2000 gram	1 - 10 hari	34 °C
	11 hari - 4 minggu	33 °C
	> 4 minggu	32 °C
2100 - 2500 gram	1 - 2 hari	34 °C
	3 hari - 3 minggu	33 °C
	> 3 minggu	32 °C
> 2500 gram	1 - 2 hari	33 °C
	> 2 hari	32 °C

Inkubator bayi yang ada di pasaran menggunakan kontrol on-off pada sistem pemanasnya untuk mengendalikan suhu dalam inkubator. Metode ini mempunyai kekurangan yaitu respon waktu transien yang cukup lama dari posisi hidup ke posisi mati atau sebaliknya. ^[3]

Untuk mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan adanya pengendalian otomatis dengan metode sistem kontrol cerdas pada suhu dan kelembaban. Salah satu pemodelan sistem kontrol cerdas yang digunakan dalam dunia industri berupa *fuzzy logic*, yaitu metode penentuan keputusan pada sebuah sistem yang memiliki tingkat keambiguan tinggi dan ketidakjelasan berlimpah. Pengaplikasian kontrol suhu menggunakan metode *fuzzy logic* diharapkan dapat mengatasi masalah yang terjadi pada kontrol on-off inkubator bayi. ^[3]

Penelitian tugas akhir ini menggunakan *plant* berupa modul *thermoelectric*, dimana modul *thermoelectric* merupakan sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek *Seebeck*, *peltier* dan *thompson*. Konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti *sandwich* antar dua *wafer* keramik tipis. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN PERANCANGAN

2.1 Inkubator Bayi

Inkubator bayi merupakan suatu kotak yang dirancang untuk mempertahankan suhu internal yang konstan. Bayi prematur memiliki kesulitan untuk mempertahankan suhu tubuhnya tetap dan mudah bervariasi. Inkubator bayi juga dapat melindungi bayi prematur dari infeksi, kebisingan, dan cahaya. Serta dapat memberikan udara yang cukup lembab untuk menjaga integritas kulit pada bayi prematur.

2.2 Modul Thermoelectric

Thermoelectric merupakan perangkat atau alat yang mampu mengubah energi listrik menjadi suatu gradient temperatur. Perubahan tersebut dikenal dengan efek Peltier. Efek peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Peltier pada tahun 1834 dengan membalikkan fenomena dari efek Seebeck.

Modul *Thermoelectric* tersusun dari beberapa pasang sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan secara seri seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Pada setiap sambungan antara dua tipe semikonduktor tersebut dihubungkan dengan konduktor yang terbuat dari tembaga. Interkoneksi konduktor tersebut diletakan pada bagian atas dan bagian bawah semikonduktor. Konduktor bagian atas ditunjukan untuk melepas kalor dan konduktor bagian bawah ditunjukan untuk menyerap kalor. Pada kedua bagian interkoneksi ditempelkan pelat yang terbuat dari keramik yang berfungsi sebagai isolator listrik sambungan tersebut.

2.3 Sensor

Sensor adalah suatu alat yang dapat mendeteksi atau mengukur kondisi real time pada dunia nyata dan mengubahnya kedalam bentuk analog ataupun digital. Sensor memiliki banyak jenis berdasarkan apa yang dideteksinya yaitu sensor suhu, intensitas cahaya, udara, zat kimia, pergerakan dan kelembaban. Pada tugas akhir ini sensor yang digunakan adalah sensor suhu, kelembaban.

Sensor SHT-1x adalah sebuah chip tunggal untuk sensor suhu dan kelembaban relative yang mempunyai banyak modul sensor yang terdiri dari sebuah pengkalibrasian digital. Bagian masukan terdiri dari sebuah elemen kapasitif polymer untuk kelembaban relatif dan sebuah pita regangan sebagai sensor suhu. Keduanya adalah kopel tanpa lapisan untuk 14 bit analog to digital converter dan sebuah lapisan serial interface circuit pada chip yang sama. Akibatnya pada kualitas sinyal superior, waktu respon sangat cepat dan kekurangan kepekaan terhadap gangguan luar pada banyak persaingan harga/nilai.

2.4 Arduino Uno

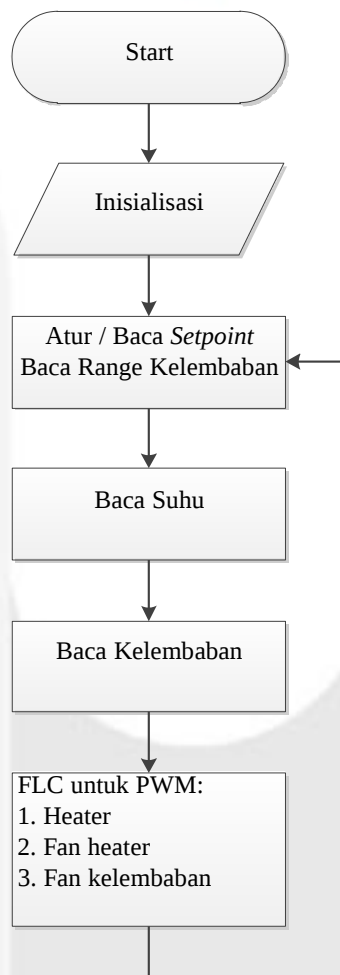
Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut digunakan sebagai *output* PWM dan 6 *input* analog, 16Mhz osilator Kristal, koneksi USB, ACK POWER, ICSP *header* , dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya.

Uno berada dengan semua *board* sebelumnya dalam hal koneksi USB-to serial yaitu menggunakan fitur AtmegaU2 yang diprogram sebagai konverter USB-to serial berbeda dengan *board* sebelumnya yang menggunakan ship FTDI DRIVER USB-to serial

2.5 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Saat logika klasik menyatakan segala hal dapat di ekspresikan dalam istilah biner (0 dan 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika *Fuzzy* menggantikan kebenaran Boolean dengan tingkat kebenaran ^[8]. Himpunan logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai cara matematis untuk mempresentasikan ketidakpastian linguistik. Logika *fuzzy* sangat berguna untuk menyelesaikan banyak permasalahan dalam berbagai bidang yang biasanya memuat derajat ketidakpastian

2.6 Flowchart Program



Gambar 2.1. Flowchart Program

2.7 Blok Diagram Sistem



Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem

Diagram blok di atas menjelaskan bahwa perancangan menggunakan sistem pengendalian close loop yang terindikasi dari setiap keluaran output yang dihasilkan akan secara terus menerus mengalami feedback umpan balik yang dilakukan oleh sensor, yaitu sensor kelembaban dan sensor suhu.

Berdasarkan gambar 3.1, sistem yang akan dirancang menggunakan input berupa suhu dan kelembaban. Input suhu dan kelembaban tersebut didapatkan dari pembacaan sensor suhu yang di dalam plant. Input yang telah didapat akan di kirim dan di olah oleh FLC (Fuzzy Logic Controller) dan output yang dihasilkan dari FLC akan mengendalikan tiga buah besaran PWM. Untuk PWM pertama akan pengatur tegangan thermoelectric, untuk PWM kedua akan mengatur tegangan fan untuk thermoelectric dan PWM ketiga untuk mengatur tegangan fan untuk sistem kelembaban pada plant.

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Kalibrasi Sensor SHT-11

Pengujian tingkat ketelitian sensor dilakukan dengan membandingkan nilai sensor SHT-11 yang terbaca dengan nilai thermometer dan hygrometer analog. Dimana pada pengujian ini dilakukan di dalam ruangan inkubator dengan cara menaikkan suhu di dalam inkubator dan mencatat hasil pembacaan sensor serta mencatat suhu dan kelembaban yang terukur pada thermometer dan hygrometer analog.

Tabel 3.1 Kalibrasi Sensor SHT-11

No.	Suhu SHT-11 (°C)	Kelembaban SHT-11(%)	Suhu Thermometer (°C)	Kelembaban Hygrometer (%)	Error Suhu SHT-11 (%)	Error Kelembaban SHT-11 (%)
1.	26,83	62,71	27	62	0,6	1,1
2.	27,06	66,58	27	66	0,2	0,9
3.	28,28	65,71	28	65	1	1,1
4.	29,38	63,38	29	63	1,3	0,6
5.	30,3	61,51	30	62	1	0,8
6.	31,17	59,92	31	60	0,5	0,1
7.	32,2	58,78	32	59	0,6	0,4
8.	33,24	56,68	33	56	0,7	1,2
9.	33,84	55,91	34	56	0,5	0,2
10.	34,98	55,21	35	56	0,06	0,4

3.2 Pengujian dan Analisis Tanpa Beban

Tabel 3.2 Pengujian Tanpa Beban

Waktu	setpoint 32°C / suhu ruangan 29,4°C		setpoint 33°C / suhu ruangan 29,1°C		setpoint 34°C / suhu ruangan 29,1°C		setpoint 35°C / suhu ruangan 28,6°C	
	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)
0	74,13	29,77	73,63	29,8	73,13	29,88	73,63	29,88
1	74,1	30,27	73,5	30,55	72,9	30,16	73,3	30,37

Waktu	setpoint 32°C / suhu ruangan 29,4°C		setpoint 33°C / suhu ruangan 29,1°C		setpoint 34°C / suhu ruangan 29,1°C		setpoint 35°C / suhu ruangan 28,6°C	
	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)
2	73,71	31,04	73,51	31,29	73,31	30,91	73,11	31,12
3	72,95	31,48	72,55	31,81	72,15	31,45	71,75	31,94
4	71,67	31,61	70,47	32,2	69,27	31,98	68,07	32,61
5	70,45	31,85	68,67	32,54	66,89	32,54	65,11	33,34
6	69,19	31,86	67,63	32,81	66,07	32,93	64,51	33,7
7	68,33	31,66	66,9	32,96	65,47	33,25	64,04	34,03
8	67,29	32,1	65,75	33,23	64,21	33,42	62,67	34,31
9	66,29	31,81	64,42	33,09	62,55	33,69	60,68	34,48
10	65,51	31,67	63,93	33,13	62,35	33,81	60,77	34,67
11	64,72	32,01	63,38	33,2	62,04	33,95	60,7	34,75
12	63,95	31,98	62,83	33,12	61,71	34,05	60,59	34,87
13	63,63	31,85	61,98	33,28	60,33	34,05	58,68	34,98
14	63,93	31,9	62,18	33,08	60,43	34,14	58,68	34,9
15	63,97	31,82	62,73	33,35	61,49	34,33	60,25	34,86
16	63,7	31,83	62,21	33,1	60,72	34,06	59,23	34,86
17	63,41	31,95	61,84	33,45	60,27	34,13	58,7	35,02
18	63,34	31,95	61,79	33,28	60,24	34,11	58,69	35,12
19	63,48	31,97	61,7	33,08	59,92	33,92	58,14	35,17
20	63,15	31,97	61,9	33,25	60,65	33,86	59,4	35
21	62,76	32,03	61,22	33,24	59,68	34,03	58,14	35,14
22	62,78	32,12	61,8	33,37	60,82	34,18	59,84	35,14
23	62,95	32,34	61,98	33,3	61,01	34,26	60,04	35,18
24	62,68	32,38	62,18	33,07	61,68	34,28	61,18	35,36
25	62,47	32,27	61,82	33,39	61,17	34,29	60,52	35,07
26	62,58	32,09	61,79	33,29	61	34,37	60,21	34,95
27	62,46	32,1	61,76	33,29	61,06	34	60,36	35
28	62,19	32,08	61,4	33,23	60,61	33,98	59,82	35,27
29	62,33	32,08	61,28	33,36	60,23	33,98	59,18	35,29
30	62,39	32,12	61,25	33,23	60,11	34,05	58,57	35,2

Pada pengujian ini terdapat lima setpoint yang diuji, yaitu 32°C, 33°C, 34°C, dan 35°C dengan kelembaban 55%-65%. Dari tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa setpoint tercapai pada kisaran waktu 10-15 menit. Hal ini disebabkan karena pada sistem heater menggunakan fan dan heatsink untuk menyalurkan panas dari modul thermoelectric menuju ruang inkubator bayi. Modul thermoelectric melepaskan kalor ke heatsink terlebih dahulu sebelum dihempaskan ke udara menggunakan fan, selain itu heatsink berguna untuk menjaga agar modul thermoelectric tidak mengalami over heating yang dapat menyebabkan modul thermoelectric rusak. Dari jumlah data didapatkan error rata-rata saat sistem mencapai setpoint, dimana pada saat setpoint 32°C error rata-rata sebesar 0,13%, setpoint 33°C error rata-rata sebesar 0,71%, setpoint 34°C error rata-rata sebesar 0,32%, dan setpoint 35°C error rata-rata sebesar 0,24%.

3.3 Pengujian dan Analisis Dengan Beban

Tabel 3.3 Pengujian Dengan Beban

Waktu	setpoint 32°C / suhu ruangan 27,1°C		setpoint 33°C / suhu ruangan 27,1°C		setpoint 34°C / suhu ruangan 27,1°C		setpoint 35°C / suhu ruangan 27,9°C	
	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)
0	72,11	30,34	71,61	30,15	67,97	30,04	67,47	29,19
1	72,45	30,33	71,85	30,45	68,22	30,39	67,62	29,47
2	72,61	30,57	72,41	30,91	68	31,08	67,8	30,22
3	72,03	30,8	71,63	31,46	67,56	31,65	67,16	30,93
4	71,24	31,02	70,04	31,84	67,45	32,2	66,25	31,52

5	70,46	30,98	68,68	31,85	66,23	32,56	64,45	31,95
6	69,77	31,12	68,21	32,05	65,52	32,77	63,96	32,32
7	69,28	31,32	67,85	32,29	65,15	33,04	63,72	32,62
8	69,49	31,59	67,95	32,53	64,85	33,17	63,31	32,91
9	68,9	31,25	67,03	32,67	62,26	33,36	60,39	33,15
10	68,01	31,23	66,43	32,76	63,39	33,43	61,81	33,35
11	67,22	31,45	65,88	32,7	62,78	33,63	61,44	33,56
12	66,85	31,63	65,73	32,71	62,4	33,72	61,28	33,72
13	66,2	31,63	64,55	32,92	61,96	33,8	60,31	33,93
14	65,99	32,05	64,24	33,1	61,71	33,86	59,96	34,04
15	65,85	31,94	64,61	33,3	60,96	33,9	59,72	34,14
16	65,52	31,94	64,03	33,07	61,27	33,85	59,78	34,28
17	65,78	31,9	64,21	33,33	61,3	34,06	59,73	34,36
18	65,15	32,29	63,6	32,98	61,56	34,07	60,01	34,48
19	64,85	31,97	63,07	33	61,13	34,04	59,35	34,55
20	64,42	31,69	63,17	33,01	61,27	34,1	60,02	34,61
21	63,93	31,82	62,39	33,17	61,1	34,07	59,56	34,64
22	64,55	32,09	63,57	33,41	60,72	34,17	59,74	34,74
23	63,91	32,03	62,94	33,1	60,16	34,14	59,19	34,76
24	63,71	31,88	63,21	33,06	60,29	34,15	59,79	34,88
25	63,35	32,15	62,7	33,02	59,83	34,26	59,18	34,94
26	62,83	32,26	62,04	33,1	59,72	34,23	58,93	35
27	63,14	31,96	62,44	33,05	59,59	33,99	58,89	35,06
28	62,45	31,74	61,66	33,15	59,29	34,24	58,5	35,04
29	63,12	32,19	62,07	32,96	59,58	34,08	58,53	35,02
30	63,1	32,06	61,96	33,32	60,21	34,1	59,07	35,04

Pada pengujian inkubator dengan beban tidak hanya suhu ruangan yang diperhitungkan melainkan juga suhu bayi di dalam inkubator. Bayi yang digunakan dalam pengujian ini disimulasikan dengan air dengan suhu menyerupai bayi baru lahir yaitu 36,5°C-37,5°C. Terdapat lima setpoint yang diuji, yaitu 32°C, 33°C, 34°C, dan 35°C dengan range kelembaban 55%-65%.

Hasil pengujian inkubator dengan beban tidak jauh berbeda dengan pengujian inkubator tanpa beban dimana waktu suhu ruangan mencapai setpoint berkisar 10-15 menit. Dari jumlah data didapatkan error rata-rata saat sistem mencapai setpoint, dimana pada saat setpoint 32°C error rata-rata sebesar 0,0073%, setpoint 33°C error rata-rata sebesar 0,34%, setpoint 34°C error rata-rata sebesar 0,18%, dan setpoint 35°C error rata-rata sebesar 0,16%.

3.5 Pengujian Konsumsi Energi

Tabel 3.4 Hasil Pengukuran Energi

No.	Setpoint	Energi	Arus Puncak (A)	Tegangan Puncak(V)	Daya puncak(Watt)
1.	32°C	24,959 Wh	5,88 A	11,72 V	68,9136 W
2.	33°C	25,708 Wh	6,91 A	11,12 V	76,8392 W
3.	34°C	28,809 Wh	7,22 A	11,07 V	79,9254 W
4.	35°C	31,191 Wh	7,23 A	11,48V	83,0004 W

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa konsumsi energi yang digunakan saat inkubator bayi dihidupkan selama 30 menit. Dimana setiap setpoint memiliki konsumsi energi yang berbeda yaitu untuk setpoint 32°C, 33°C, 34°C, dan 35°C diperlukan energi sebesar 24,959 Wh, 25,708 Wh, 28,809 Wh, dan 31,191 Wh berturut-turut. Dibandingkan dengan inkubator yang ada dipasaran daya yang digunakan sebesar 350W, seperti inkubator tipe SANES BIC-301 menggunakan input power sebesar 350W.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan implementasi serta uji coba pembuatan sistem pengendali suhu dan kelembaban pada prototype, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan, antara lain:

1. Pemanas dapat bekerja maksimal untuk memanaskan ruangan inkubator dengan *setpoint* yang ditentukan.

2. Suhu dan kelembaban dapat dijaga sesuai dengan *range* baik itu memperhitungkan faktor luar maupun dalam inkubator.
3. Daya yang digunakan untuk memanaskan suhu ruangan *relatif* kecil.
4. Kendali *fuzzy logic* bekerja dengan baik dalam memutuskan perintah untuk *heater*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Fajar, "1health," 24 Juli 2015. [Online]. Available: <http://www.1health.id/id/article/category/pregnancy-&-baby/ini-7-penyebab-kelahiran-prematur-1065.html>. [Diakses 28 mei 2016].
- [2] D. P. Pratiwi, "PEMANTAU DAN PENGATUR SUHU INKUBATOR BAYI BERBASIS WIFI," *Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*, 2014.
- [3] G. D. Laksono, "PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI SUHU PADA INKUBATOR BAYI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC," *Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*, 2014.
- [4] R. Umboh, *Perancangan Alat Pendinginan Portable Menggunakan Elemen Peltier*, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2007.
- [5] B. Wirayuda, *Pengembangan Alat Cryosurgery Prototype V Berbasis Termoelektrik Bertingkat*, Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [6] A. W. Culp, *Pinsip-prinsip Konversi Energi*, Jakarta: Erlangga, 1996.
- [7] Sensirion, "Sensirion The Sensor Company," Sensirion AG, Switzerland, [Online]. Available: <http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-temperature-sensor-sht1x/>. [Diakses 11 11 2015].
- [8] Ariando, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGATURAN CAHAYA, TEMPERATUR DAN KELEMBABAN PADA KEBUN INDOOR MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER," *Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*, 2015.
- [9] A. G. Abdullah, "Logika Fuzzy," dalam *Kendali Cerdas Buatan*, Bandung, Pendidikan Teknik Elektro Universitas Pendidikan Indonesia.
- [10] Handoko, *Pengantar Unsur-unsur Cuaca di Stasiun Klimatologi Pertanian*, 1986.
- [11] PT Gesunde Medicalindo Persada, "Gesunde Medical," 17 Februari 2014. [Online]. Available: <http://www.alatkesehatan.id/toko/jual-mes-in-inkubator-bayi-baby-incubator>. [Diakses 15 juli 2016].