

Rancang Bangun Pemanas Air Kolam Renang Skala Laboratorium Menggunakan Metode Logika Fuzzy

Design Of Laboratory Scale Swimming Pool Water Heater Using Fuzzy Logic Method

1st Ezra Fairiz Pratama
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ezrafairiz@students.telkomuniversity
.ac.id

2nd Amaliyah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id

3rd Reza Fauzi Iskandar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kolam renang dalam ruangan merupakan sarana kesehatan dan hiburan sehingga semakin banyak variasi untuk meningkatkan kenyamanan pada kolam renang, untuk meningkatkan kenyamanan kolam renang dalam ruangan maka parameter yang harus dicapai yaitu air, energi dan material. Pada kolam renang dalam ruangan Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom memiliki suhu air 22 °C, sedangkan suhu kolam dalam ruangan ditetapkan oleh FINA 25–28 °C. Perancangan pemanas air kolam renang skala laboratorium pada skala 1:25 (1 meter x 0,5 meter x 0,3 meter) terhadap Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom akan menggunakan sistem kontrol dengan metode logika fuzzy, pemanas air akan dikontrol pada air tangki dengan ukuran (0,25 meter x 0,18 meter x 0,3 meter) lalu memindahkan panas ke kolam penelitian. Pengontrol yang akan digunakan adalah mikrokontroler dengan metode logika fuzzy menurut Mamdani, dengan begitu hasil yang akan diperoleh adalah suhu konstan pada 35 dengan waktu pemanasan rata rata sebesar 11 menit 08 detik, waktu pengosongan air sebesar 4 menit 11 detik dan waktu penghantaran kolam penelitian sebesar 5 menit 14 detik. Selanjutnya rata – rata hasil kalor yang dibutuhkan pada kolam penelitian adalah sebesar 1706,54 Joule dan kalor yang dibutuhkan pada tangki 1 adalah 2145,13 Joule.

Abstract

The indoor swimming pool is a means of health and entertainment so that there are more variations to increase the comfort of the swimming pool, to increase the comfort of the indoor swimming pool, the parameters that must be achieved are water, energy and materials. In the indoor swimming pool, Telkom University Tokong Nanas Building has a water temperature of 22 °C, while the indoor pool temperature is set by FINA 25–28 °C. The design of a laboratory-scale swimming pool water heater at a scale of 1:25 (1 meter x 0.5 meter x 0.3 meter) to the Tokong

Nanas Building, Telkom University will use a control system with the fuzzy logic method, the water heater will be controlled on a water tank with a size of (0.25 meters x 0.18 meters x 0.3 meters) then transfers the heat to the research pond. The controller that will be used is a microcontroller with the fuzzy logic method according to Mamdani, so the results to be obtained are a constant temperature at 35 with an average heating time of 11 minutes 08 seconds, a water emptying time of 4 minutes 11 seconds and a heating time of the research pool of 5 minutes 14 seconds. Furthermore, the average heat required for the research pond is 1706.54 Joules and the heat required for tank 1 is 2145.13 Joules.

I. PENDAHULUAN

Kolam renang adalah sarana kesehatan dan hiburan, dengan banyaknya variasi untuk meningkatkan kenyamanan maka parameter air, energi dan material harus dikembangkan [1]. Kolam renang mempunyai dua kasus yang berbeda yaitu kolam renang luar ruangan dan dalam ruangan sehingga, salah satu kasus yang membedakan adalah resiko matahari dalam penggunaan kolam renang luar ruangan yang dapat menimbulkan suhu kolam terlalu panas, sedangkan pada kolam renang dalam ruangan suhu kolam tidak akan terpengaruh besar tetapi dapat terjadinya suhu kolam menurun karena didalam ruangan yang tertutup. [2]

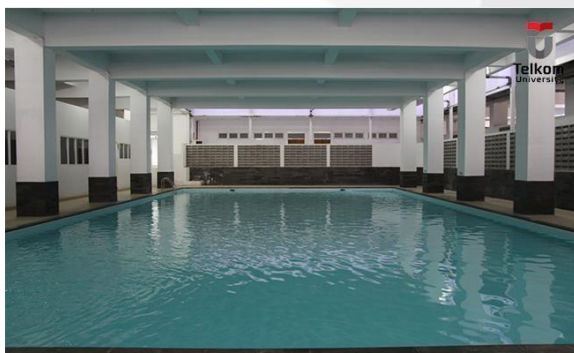
Kolam renang dalam ruangan merupakan kasus terbaik untuk melakukan pengontrolan suhu kolam karena terdapat parameter lingkungan penting yang harus dikontrol di kolam renang dalam ruangan yaitu suhu kolam, ruang udara dan kelembaban relatif. [3] Dengan demikian, pengontrolan suhu kolam akan dilakukan dalam penelitian ini dengan model skala laboratorium Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom. Kolam renang Gedung Tokong Nanas memiliki suhu air 22 °C sedangkan Fédération Internationale de Natation (FINA) menetapkan bahwa suhu air kolam renang dipertahankan dalam kisaran 25–28 °C. [4]

Kolam spa memiliki potensi yang baik bagi mahasiswa Universitas Telkom untuk mengolah jasmani, raga dan dapat mengurangi potensi kematian jantung hingga penyakit kardiovaskular [5]. Kolam renang spa di Bandung menggunakan kasus kolam renang luar ruangan dan mulai digunakan oleh tempat penginapan yang memiliki tujuan memfasilitasi pengunjung tempat penginapan namun, fasilitas tersebut hanya bisa digunakan oleh pengunjung yang memesan ruangan pada tempat penginapan tersebut pada suhu 30-40 °C sesuai dengan ketetapan kolam spa oleh FINA [4]. Penelitian sebelumnya mempresentasikan prosedur eksperimental di skala laboratorium yang dikembangkan untuk memvalidasi simulasi computational fluid- dynamic-based (CFD) untuk estimasi tingkat penguapan air di kolam renang dalam ruangan. Perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa pemodelan strategi yang diusulkan adalah alat yang menjanjikan, dengan kesalahan relatif rata-rata 9% untuk aliran konveksi campuran di kolam renang dalam ruangan [6]. Dengan begitu, penelitian ini akan mengembangkan kontrol suhu pada penelitian sebelumnya secara kontinyu, menggunakan microcontroller dengan metode fuzzy logic pada kolam renang skala laboratorium 1:25 terhadap Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom. Untuk mencapai suhu kolam spa dilakukan pencampuran dua cairan pada air tangki yang dipanaskan dengan air kolam renang melewati enam outlet dari tangki. Pemantauan distribusi pemanasan akan dilakukan dengan sensor temperatur agar suhu kolam merata, oleh karena itu suhu minimum pada kolam renang adalah 30°C hingga suhu maksimum 35°C, dengan jarak suhu tersebut maka penelitian ini akan sinkron pada ketetapan FINA.

II. KAJIAN TEORI

a. Kolam Renang Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom

Kolam renang Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom atau biasa disebut Gedung Kuliah Umum (GKU) adalah kolam renang dalam ruangan dengan ukuran 25 m X 12 m X (1,2 m hingga 1,8m), kolam renang ini merupakan salah satu fasilitas bagi mahasiswa untuk olah raga ataupun bisa digunakan sebagai tempat olahraga dan rekreasi.



Gambar 2.1 (a.) Kolam renang dalam ruangan Gedung Tokong Nanas Universitas Telkom [7]

b. Komponen Alat Ukur

Komponen yang terdapat pada alat ukur yang dirancang demi menunjang penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Komponen-komponen ini secara umum terdiri mikrokontroler dan sensor.

c. Arduino

Arduino UNO adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega328 memiliki 14 digital pin masukan dan keluaran yang enam pin tersebut dapat digunakan sebagai keluaran PWM, enam masukan analog, 16 MHz resonator, koneksi USB, masukan listrik, header ICSP, dan tombol reset ini berisi sebagai pendukung mikrokontroler. Uno berbeda dari semua board yang lain karena Uno tidak menggunakan chip driver USB-to-serial FTDI sebagai gantinya, UNO menampilkan Atmega16U2 (Atmega8U2 hingga versi R2) yang diprogram sebagai USB-ke-serial konverter. [10]

d. Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 adalah jenis sensor suhu yang tahan air. Sensor suhu DS18B20 beroperasi dalam kisaran -55 °C sampai 125 °C. Meskipun sensor ini dapat membaca hingga 125 °C, namun dengan penutup kabel dari PVC disarankan tidak melebihi 100 °C. Sensor DS18B20 memiliki tiga kaki, yaitu GND (ground), DQ (data), VDD (power). Pada Arduino, VDD dikenal sebagai VCC, maka diasumsikan VCC sama dengan VDD. Berdasarkan datasheet, sensor DS18B20 bekerja dengan konsep direct to digital temperature sensor dan memiliki resolusi ADC yang bisa dikonfigurasi dari 9, 10, 11 atau 12 bit. Resolusi ADC ini akan berkaitan dengan kenaikan suhu tiap level analog. Semakin besar Resolusi ADC yang digunakan, semakin teliti sensor akan mendeteksi suhu disekitarnya. Secara default, DS18B20 saat dihubungkan ke mikrokontroler resolusi ADCnya adalah 12 bit. Untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, sensor DS18B20 menggunakan antarmuka 1-Wire. Artinya sensor ini hanya menggunakan 1 jalur data untuk mengirim dan menerima data dari mikrokontroler. [11]

e. Sensor Level HC SR04

Modul ultrasonik mulai HC - SR04 menyediakan 2cm - 400cm non-kontak fungsi pengukuran, akurasi bisa mencapai 3mm. Modul yang termasuk antara lain pemancar ultrasonik, penerima dan rangkaian kontrol. Prinsip dasarnya adalah sebagai berikut [12]:

1. Menggunakan pemacu IO untuk setidaknya 10us sinyal tingkat tinggi.
2. Modul secara otomatis mengirim delapan 40 kHz dan mendeteksi apakah ada sinyal pulse yang kembali.
3. Jika sinyal kembali, melalui level tinggi, waktu durasi IO output tinggi adalah waktu dari mengirim ultrasonik ke kembali. Jarak uji = (waktu tingkat tinggi × kecepatan suara (340M / S) / 2.

f. Relay

Relay adalah suatu peranti yang bekerja berdasarkan elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor yang tersusun atau, sebuah saklar elektronik yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber energinya. Kontaktor akan tertutup maka menyala atau terbuka maka mati karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan ketika dialiri arus listrik. Berbeda dengan saklar, pergerakan kontaktor hidup atau mati dilakukan manual tanpa perlu arus listrik. [13]

g. Buck Boost Converter

Rangkaian regulator LM2596 terintegrasi secara monolitik sirkuit yang menyediakan semua fungsi aktif untuk step-down (buck) switching regulator, mampu menggerakkan beban 3A dengan garis yang sangat baik dan regulasi beban. Perangkat ini tersedia dalam tegangan output tetap 3.3V, 5V, 12V, dan dapat disesuaikan versi keluaran. Seri LM2596 beroperasi pada frekuensi switching 150 kHz sehingga memungkinkan komponen filter berukuran lebih kecil dari apa yang akan dibutuhkan dengan regulator switching frekuensi yang lebih rendah. [14]

h. Switch Module Power Supply

Regulator tegangan linier umumnya jauh lebih efisien dan lebih mudah digunakan daripada rangkaian regulator tegangan setara yang terbuat dari komponen diskrit seperti dioda zener dan resistor, atau transistor dan bahkan op- amp. Desain catu daya tipikal ini berisi trafo listrik besar (yang juga menyediakan isolasi antara input dan output) dan rangkaian regulator seri disipatif. Rangkaian regulator dapat terdiri dari dioda zener tunggal atau regulator seri linier tiga terminal untuk menghasilkan tegangan keluaran yang diperlukan. Keuntungan dari regulator linier adalah rangkaian catu daya hanya membutuhkan kapasitor input, kapasitor output, dan beberapa resistor umpan balik untuk mengatur tegangan output. [15]

i. Pompa Air

Pompa air merupakan alat yang memindahkan fluida yang banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam rumah tangga ataupun peralatan mesin industri. Pompa air akan memindahkan air dari satu titik ke titik lainnya dengan bantuan arus listrik yang mengalir.

j. Pemanas Air

Electrical heating element merupakan elemen pemanas listrik yang banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam rumah tangga ataupun peralatan mesin industri. Elemen pemanas terbuat dari logam dengan nilai resistensi yang tinggi. Biasanya terbuat dari paduan nikel-chrome yang disebut nichrome. Jika arus mengalir melalui elemen dengan resistensi tinggi maka aliran yang bekerja pada elemen ini akan menghasilkan panas. Jika arus listrik diputus, elemen secara perlahan menjadi dingin. Bentuk dan tipe electrical heating

element ini bermacam- macam yang disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan dipanaskan. [16]

k. Kontrol Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam ruang output. Untuk sistem yang sangat rumit, penggunaan logika fuzzy (fuzzy logic) adalah salah satu pemecahannya. Sistem tradisional dirancang untuk mengontrol keluaran tunggal yang berasal dari beberapa masukan yang tidak saling berhubungan. Karena ketidaktergantungan ini, penambahan masukan yang baru akan memperumit proses kontrol dan membutuhkan proses perhitungan kembali dari semua fungsi. Kebalikannya, penambahan masukan baru pada sistem fuzzy, yaitu sistem yang bekerja berdasarkan prinsip-prinsip logika fuzzy, hanya membutuhkan penambahan fungsi keanggotaan yang baru dan aturan-aturan yang berhubungan dengannya. [17]

Secara umum, sistem fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya. [17]

l. Sistem Logika Fuzzy

Konfigurasi sistem logika fuzzy terdapat komponen utama, yaitu unit fuzzifikasi, basis pengetahuan yang terdiri dari basis data dan basis aturan, logika pengambilan keputusan, dan unit defuzzifikasi. Proses fuzzifikasi dipergunakan untuk mengubah data masukan tegas bentuk derajat keanggotaan. Basis pengetahuan dipergunakan untuk menghubungkan himpunan masukan dengan himpunan keluaran. Logika pengambilan keputusan dipergunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan yang terdapat pada basis aturan suatu pemetaan dari suatu himpunan fuzzy input ke suatu himpunan fuzzy output. Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam suatu sistem logika fuzzy dengan tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari inference engine yang diekspresikan dalam bentuk himpunan fuzzy ke suatu bilangan real.

m. Logika Pengambilan Keputusan

Logika pengambilan keputusan (fuzzy inference) mengaplikasikan aturan- aturan fuzzy pada masukan fuzzy kemudian mengevaluasi setiap aturan. Prinsip logika fuzzy digunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan JIKAMAKA (IFTHEN) yang terdapat dalam basis aturan suatu pemetaan dari suatu himpunan fuzzy input himpunan fuzzy output. Logika pengambilan keputusan merupakan Langkah kedua dalam pemrosesan logika fuzzy. Terdapat beberapa metode pengambilan keputusan dalam logika fuzzy diantaranya yaitu metode Mamdani. [17]

n. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah masukan tegas/nyata (crisp inputs) yang bersifat bukan Fuzzy ke dalam himpunan Fuzzy. Data yang berbentuk tegas/nyata (crisp), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan Fuzzy. Proses fuzzifikasi dapat diperlihatkan pada contoh berikut ini, jika suhu air merupakan suatu variabel linguistik, dengan nilai linguistik $T(\text{suhu}) = \{\text{dingin, hangat, panas}\}$, dimana semesta pembicaraannya terletak antara suhu 0 C sampai 3 dengan suhu 75 °C, dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga.[18]

No	Penggaris	HCSR04	Error
1	2.5	3	-0,5
2	9	9	0
3	11	11	0

o. Defuzzifikasi

Metode rata-rata terbobot, nilai keluaran tegas diperoleh dari jumlah hasil kali keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran dengan posisi singleton pada sumbu x dibagi dengan jumlah keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran. Rumus metode defuzzifikasi rata-rata terbobot adalah sebagai berikut [19] :

$$\text{KeluaranCrisp} = \frac{\sum (\text{KeluaranFuzzy}) \times (\text{Posisi Singleton pada sumbu } x)}{\sum (\text{KeluaranFuzzy})} \dots(2.5)$$

Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan crisp yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol. [19].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakteristik Alat Ukur

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian alat ukur agar diketahui bekerja dan berfungsi yang telah direncanakan. Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur konvensional atau digital.

b. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian pada alat ukur ini akan dibandingkan dengan Thermogun terhadap perubahan derajat yang terjadi, pembacaan nilai alat ukur akan dibagi menjadi dua macam yaitu nilai interger dan float. Berikut pengujian alat ukur suhu DS18B20 terhadap Thermogun.

c. Pengujian Sensor Jarak HC-SR04

Pengujian pada alat ukur ini akan dibandingkan dengan penggaris terhadap perubahan jarak yang terjadi, pembacaan nilai alat ukur akan dibagi dua macam yaitu nilai interger dan float. Berikut pengujian alat ukur. Berikut pengujian alat ukur jarak HC-SR04 terhadap penggaris.

d. Pengujian Kontrol Logika Fuzzy

Pengujian ini dilakukan untuk melakukan perbandingan hasil dari program Arduino dan MATLAB dengan metode Mamdani, untuk mendapatkan nilai keluaran pada kedua sistem diperlukan empat tahapan yaitu Fuzzifikasi, Implikasi Fuzzy dan Defuzzifikasi.

No	Thermogun	DS18B20	Error
1	37.8	37.8	0
2	37.8	38	-0,2
3	41	40	1

o
u
t
p
u
t
P
e
m
a
n
a
s

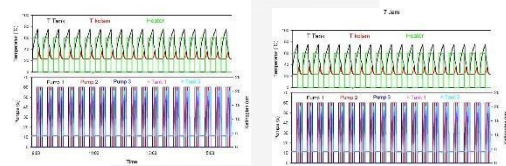
T	T	H	H	O	M	E
t	p	t	t	u	a	r
a	o	a	a	t	t	r
n	o	n	n	p	L	o
k	l	k	k	u	a	r
1		1	2	t	b	

60,13	23,47	4,09	3,92	60	60	0
26,66	25,22	3,22	4,87	60	60	0
75,87	24,94	3,93	4,09	0	0	0

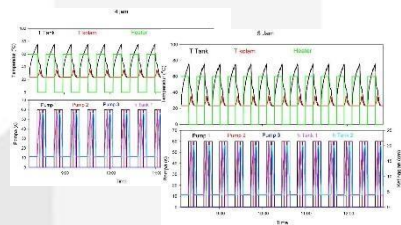
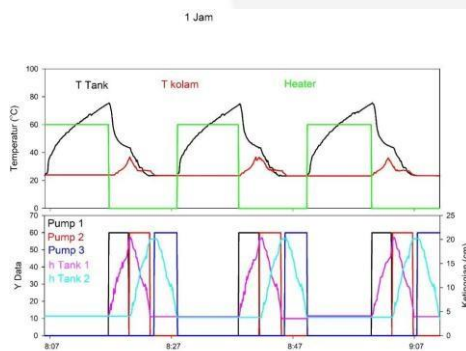
064	0	3				
47,252	28,07	13,07	4,07	60	60	0
36,177	30,04	19,04	7,97	0	0	0
23,69	23,69	3,94	1,97	0	0	0

e. Hasil Penelitian

Pada pengukuran kali ini telah dilakukan pengambilan data sebanyak 36 jam, pengambilan data memiliki tujuh variatif data dikarenakan waktu pengambilan data disamakan dengan pembukaan kolam renang secara riil. Berikut hasil penelitian yang didapat



Gambar 3.1 Penelitian yang dilakukan selama satu jam



Gambar 3.1 Penelitian yang dilakukan selama dua hingga tujuh jam

f. Pembahasan

Pada grafik tersebut dapat dilihat nilai suhu pada Tank1 akan terus meningkat saat output heater aktif selama waktu yang ditentukan, pada perancangan ini seluruh output diberikan nilai sebesar 60 detik, 30 detik dan 0 detik. Kenaikan suhu pada Tank1 mengakibatkan output pump1 aktif dan memindahkan air dari tank1 menuju kolam sehingga air akan bercampur dan menaikkan suhu Tpool.

Selanjutnya, air pada tank1 akan mengalami kehilangan dimana sensor jarak membaca semakin jauh

T	T	H	H	O	M	E
t	p	t	t	u	a	r
a	a	a	a	a	a	r
n	n	n	n	n	n	r
k	o	k	k	p	L	r
1	l	1	2	u	a	r
				t	b	
75,87	24,94	3,93	4,09	0	0	0

jarak nya berarti air berkurang, saat air pada tank1 hilang, dengan kondisi yang ditentukan pump2 akan aktif dan memindahkan air pada tank2 ke tank1. Pada grafik kita dapat membaca bahwa menurunnya T_{pool} dan T_{tank1} pada kondisi semula di semesta dingin dapat mengaktifkan pump3 untuk memindahkan air dari kolam penelitian ke tank1.

Dengan begitu, dapat dibuktikan program dapat berjalan seperti yang direncanakan sehingga dilakukan pengambilan data sebanyak tujuh grafik dengan data yang bisa dianggap cukup konstan. Setelah data diperoleh maka bisa didapatkannya waktu rata rata pemanasan, pengisian air, dan lama penghangatan air pada kolam penelitian.

Pada tabel dapat dilihat hasil rata rata waktu pemanasan air di tank1 untuk mencapai titik yang ditentukan selama 11 menit dan 08 detik, lalu pada tabel dapat dilihat hasil rata rata waktu pengosongan air sebesar 04 menit dan 11 detik. Pada tabel dapat dipahami lama waktu penghangatan kolam penelitian sebesar 5 menit dan 14 detik. Pada tabel 4.10 dapat dilihat bahwa kalor yang diterima dan dilepas pada tangki sebesar 2145,13 Joule lalu tabel berikutnya tabel 4.11 kolam membutuhkan kalor sebesar 1706,54 Joule.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada rancang bangun pemanas air kolam menggunakan metode mixer dengan logika fuzzy dapat diselesaikan dan mendapatkan data yang sangat baik sehingga bisa sesuai dengan nilai fuzzy pada Matlab, dalam 1 loop pemanasan air terjadi selama rata rata 54 menit
2. Analisa yang telah dilakukan menghasilkan berupa nilai waktu rata rata pemanasan sebesar 11 menit 08 detik lalu pengosongan air sebesar 4 menit 11 detik dan penghangatan kolam selama 5 menit 14 detik.

REFERENSI

- [1] D. Lovell, T. Rickerby, B. Vandereyt, L. Do, X. Wang, K. Srinivasan and H. T. Chua, "Thermal Performance Prediction of Outdoor Swimming Pools," *Building and Environment*, 2019.
- [2] B. A., D. Luca, F. R. D. and V. L., "Dynamic Simulation and Thermo- Economic Analysis of a PhotoVoltaic/Thermal Collector Heating System for an Indoor-Outdoor Swimming Pool," *Energy Convers*, pp. 176-192.
- [3] P. Sun, J. Y. Wu, R. Z. Wang and Y. X. Xu, "Analysis of Indoor Enviromental Conditions and Heat Pump Energy Supply Systems in Indoor Swimming Pools," *Energy and Buildings*, pp. 1071 - 1080, 2010.
- [4] Fédération Internationale de Natation (FINA) , "Swimming Pool Certification Guide," Fédération Internationale de Natation (FINA) , [Online]. Available: www.fina.org/sites/default/files/fina_certificat_e_fr2.pdf.
- [5] J. A. Laukkanen and S. K. Kunutsor, "Is sauna bathing protective of sudden cardiac death? A review of the evidence," *Progress in Cardiovascular Diseases*, p. 288–293, 2019.
- [6] F. B., L. J. L., M. I. R., G. Gallero, F. J. Álvarez and G. P., "Experimental Test for the Estimation of the Evaporation Rate in Indoor Swimming Pools : Validation of a New CFD-based Simulation Methodology," *Build Enviroment*, pp. 293-299.
- [7] M. Z. Dzulfikar, "5 Kenikmatan yang dirasakan anak Telkom," *zaidzulfikar*, 5 Agustus 2017. [Online]. Available: zaidzulfikar.blogspot.com/2017/08/5-kenikmatan-yang-hanya-dirasakan-anak.html.
- [8] Y. A. Cengel and A. M. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach Eight Edition*, New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [9] J. D. Marin, V. F. Garcia and G. J. Cascales, "Use of a Predictive Control to Improve the Energy Efficiency in Indoor Swimming Pools Using Solar Thermal Energy," *Solar Energy*, pp. 380-390, 2019.
- [10] Farnell, "Datasheets Arduino Uno," [Online]. Available: www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf.
- [11] Maxim Intergrated Products, "Datasheet DS18B20," [Online]. Available: datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.
- [12] Elec Freaks, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04," [Online]. Available: cdn.sparkfun.com/datasheets/sensors/proximity/HCSR04.pdf.
- [13] A. C. 101, "12V Relay Switch," 02 August 2018. [Online]. Available: components101.com/switches/12v-relay.

- [14] ESTEK Technology, "LM2596 Datasheet," BEIJING ESTEK ELECTRONICS CO.,LTD, BEIJING.
- [15] Wall Industries, "SMPS Datasheet," Wall Industries, Inc., USA.
- [16] B. Aji, "Pengatur Suhu Oven Dengan Sistem Kendali PID Berbasis Mikrokontroler ATMega32," p. 26, 2015.
- [17] I. W. Sutikno, "PERBANDINGAN METODE DEFUZZIFIKASI SISTEM KENDALI LOGIKA FUZZY," Jurnal Masyarakat Informatika, vol. 2, pp. 28-36, 2016.
- [18] Z. W. S. M. and A. S. M. Trias, "APLIKASI TEKNIK KENDALI FUZZY PADA PENGENDALIAN LEVEL CAIRAN," MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR, pp. 2-5, 2014.
- [19] D. A. Puryono, "METODE FUZZY INFERENSI SYSTEM MAMDANI," STMIKA, vol. 1, pp. 1-4, 2014.
- [20] H. Syah, "Penerapan Fuzzy Inference System (FIS) Dengan Metode Mamdani Pada Sistem Prediksi Penjualan Laptop," Multimedia dan Artificial Intelligence, vol. 3, no. 2, pp. 53-55, 2019.