

# Rancang Bangun Bak Mandi Bayi Otomatis dengan Pengendalian Suhu berbasis Logika *Fuzzy*

Aliya Mitha Ardhana<sup>1</sup>, Ardik Wijayanto<sup>2</sup>, Hanny Megawati Rosalinda<sup>3\*</sup>, dan Agrippina Waya Rahmaning Gusti<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

\*Corresponding Author: [hanny@pens.ac.id](mailto:hanny@pens.ac.id)

**Abstrak**— Suhu dan kedalaman air harus dipantau dalam proses pemandian bayi. Rentang suhu yang dapat diterima kulit bayi sangat sempit, sedangkan pada umumnya pengasuh mencampur air menggunakan perkiraan subyektif. Terlebih, tidak sedikit kasus tenggelam yang terjadi saat proses pemandian bayi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat bak mandi bayi otomatis, untuk memudahkan proses mandi bayi yang aman, efisien, dan sesuai kebutuhan dengan suhu dan kedalaman air yang tepat. Metode yang digunakan untuk mengendalikan suhu adalah logika *fuzzy* dengan dua input, yaitu suhu air dan kedalaman air. Sedangkan kedalaman dikendalikan oleh servo motor yang terhubung dengan kran air. Dengan logika *fuzzy*, sinyal *Pulse-Width Modulation* (PWM) yang digunakan untuk menyalakan pemanas air mampu dikendalikan sehingga air memiliki suhu yang sama dengan nilai yang diinginkan. Hasil simulasi dan implementasi algoritma pada alat memiliki kesamaan nilai sebesar 99,72%, menunjukkan bahwa alat ini mampu membaca nilai suhu dan kedalaman air secara akurat. Pengujian pada kondisi nyata menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dengan waktu rata-rata untuk menaikkan suhu 2°C sebesar 2,99 menit dan waktu yang dibutuhkan kran untuk mengatur kedalaman sebesar 4,8 menit.

**Kata kunci:** Bak mandi bayi, logika *fuzzy*, kontrol suhu, kedalaman air

**Abstract**— The temperature and the depth of water should be monitored during the process of bathing a baby. The acceptable temperature range for a baby's skin is very narrow, yet caregivers often pour water based on subjective estimation. Moreover, there are frequent cases of drowning during baby-bathing processes. This research aims to develop an automatic baby bathtub to facilitate safety and efficiency, by giving appropriate values of temperature and depth. The method used to control the temperature using fuzzy logic with two inputs: water temperature and depth. Meanwhile, the depth is controlled by a servo motor connected to a valve. Using fuzzy logic, *Pulse-Width Modulation* (PWM) signals—connected to the water heater, can be controlled so that the water reaches the desired temperature. Simulation implementation results show a similarity value of 99.72%, indicating the device accurately reads the temperature and the depth. Tests in real conditions show that the system functions well, with an average time of 2.99 minutes to increase the temperature by 2°C and 4.8 minutes for the valve to adjust the water depth.

**Keywords:** Baby bathtub, fuzzy logic, temperature control, water depth

© 2024 Elektron Jurnal Ilmiah

## I. PENDAHULUAN

Selain untuk menjaga kebersihan, memandikan bayi dengan benar dapat membantu meningkatkan kualitas tidur bayi [1], memberikan rasa segar, dan juga untuk menjaganya dari infeksi atau penyakit – penyakit yang berasal dari keringat, kotoran bayi, dan muntah bayi [2]. Proses memandikan bayi bukan tanpa resiko. Hasil penelitian dari Chikazawa menyatakan bahwa 60% pengasuh (orang tua, anggota keluarga, atau asisten), yang memandikan bayinya menggunakan bak, pernah membuat sang bayi dalam bahaya karena hampir menenggelamkannya [3],[4]. Di tahun 2018, hampir 900 anak (berumur kurang dari 20 tahun) di Amerika Serikat meninggal karena tenggelam [5]. Oleh karena itu, dalam proses memandikan bayi menggunakan bak (*bathtub*), sangat penting untuk memantau nilai kedalaman dan suhu air di dalam bak [6]. Pada

realitanya juga banyak ditemukan pengasuh yang masih menggunakan bak mandi konvensional yang mengharuskannya merebus air dan mencampurkannya ke dalam bak mandi bayi dengan perkiraan suhu dan volume yang tidak pasti.

Limin et al pernah meneliti sistem kontrol suhu yang digunakan untuk pemandian bayi menggunakan metode kontrol *fuzzy* PID [7]. Namun, pada penelitian itu variabel kedalaman air tidak diamati. Penelitian ini mengusulkan sebuah inovasi bak mandi bayi otomatis yang dapat memantau kedua nilai (kedalaman air dan suhu air) sekaligus dapat memberikan aksi pengaturan PWM pada *water heater* dan buka tutup kran air. Sehingga tidak hanya keamanan, tetapi juga efisiensi dapat diberikan oleh alat yang diusulkan.

Received 20 Mei 2024; Revised 18 Juni 2024; Accepted 24 Juni 2024

Banyak peneliti yang telah membuat sistem kontrol dengan metode yang bervariasi, diantaranya yang paling sering digunakan adalah logika *fuzzy* dan sistem kontrol PID [7-10]. Pada kasus bak mandi bayi otomatis, diinginkan dapat diaplikasikan pada bak mandi dengan beragam ukuran. Sehingga permodelan matematikanya menjadi tidak pasti. Alhassan dalam penelitiannya yang berjudul “*Comparison Between Fuzzy Logic and PID Controllers in Temperature Control of Laboratory Incubator*” memperlihatkan bahwa dalam perancangan sistem kontrol PID dibutuhkan permodelan matematika dari sistem yang akan dikontrol. Sedangkan dalam perancangan sistem kontrol *fuzzy* dibutuhkan penguasaan sistem yang dikontrol untuk menala parameter dan membangun basis aturannya [11]. Pada penelitian yang lain juga ditemukan bahwa kontrol *fuzzy* dapat membuat nilai variabel yang dikontrol lebih cepat mencapai *setpoint* (nilai yang diinginkan) [12]. Sehingga pada penelitian ini metode *fuzzy* digunakan untuk mengontrol suhu air.

Dalam sistem *fuzzy*, perancang memiliki pendekatan yang berbeda-beda untuk menentukan variabel yang dijadikan input dan membangun basis aturan. Akbar et al mengaplikasikan logika *fuzzy* dalam mengendalikan kualitas air tambak dengan menggunakan nilai kekeruhan dan suhu air [13]. Alfitri et al juga menggunakan logika *fuzzy* dengan menggunakan nilai kelembapan tanah dalam merancang sistem kontrol penyiraman bayam [14]. Sementara Baquero et al menghitung nilai galat dan selisih galat untuk membangun basis aturannya [15].

Pada penelitian ini, bak mandi bayi otomatis dirancang menggunakan dua masukan yaitu nilai kedalaman air dan suhu air. Berdasarkan pengalaman perancang, volume air (yang dapat dilihat dari nilai kedalaman air) menentukan juga seberapa panas air yang harus ditambahkan. Sehingga, nilai kedalaman air yang dipantau, sekaligus menjadi input pada sistem *fuzzy*. Algoritma *fuzzy* dirancang untuk mengendalikan kuat tidaknya *water heater*. Sistem dilengkapi dengan *buzzer* dan layar LCD untuk menampilkan nilai variabel saat ini yang dapat membantu pengasuh bayi.

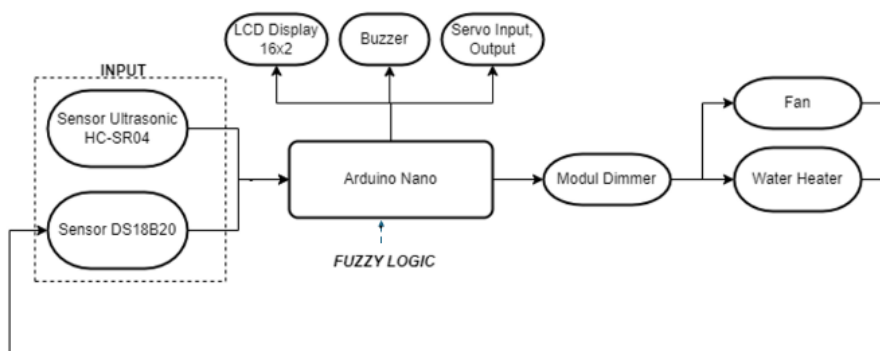
## II. METODE

Metode yang digunakan untuk memantau kedalaman air dan suhu pada bak mandi bayi terlihat pada Gambar 1. *Module dimmer* AC digunakan untuk mengendalikan suhu air dengan cara mengontrol PWM *water heater*. Sedangkan kedalaman air dikendalikan melalui motor servo input dan output yang terhubung ke kran atas dan bawah. Sehingga kran dapat menutup dan membuka sesuai algoritma yang ditanamkan di mikrokontroler Arduino Nano. Selain terdapat aksi untuk membuang air saat kedalaman air melampaui batas, buzzer juga akan menyala untuk memberi tahu pengasuh lebih cepat. Alat ini juga dapat menampilkan kondisi nilai suhu dan kedalaman air saat ini melalui layar LCD.

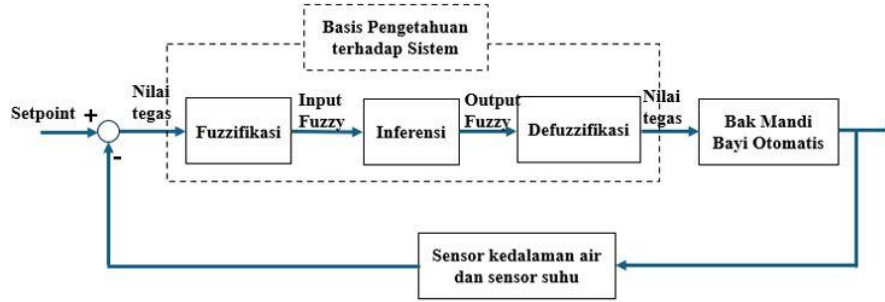
### A. Sistem Perangkat Keras

Mikrokontroler Arduino Nano ATmega328P dipilih untuk mengimplementasikan algoritma *fuzzy* karena memiliki arsitektur AVR dengan memori sebesar 32KB yang berjalan pada 16Mhz, termasuk SRAM sebesar 2KB. Pengukuran kedalaman air dilakukan oleh sensor ultrasonik HC-SR04 yang bekerja di frekuensi 40KHz. Sensor ini ditenagai oleh *loop* arus dan tidak memerlukan daya lain, maksimal rentang pengukuran dari sensor ultrasonik HC-SR04 ini adalah 500cm. Pengukuran suhu air dilakukan oleh sensor DS18B20 di dalam bak tandon kontrol dengan batas catu daya sebesar 3V sampai dengan 5.5V, rentang kisaran suhu yang dapat diukur yaitu  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $+125^{\circ}\text{C}$ , dan tingkat akurasi sebesar  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . *Module dimmer* AC digunakan untuk mengendalikan nilai PWM yang masuk ke pemanas air (*water heater*). Untuk mengatur buka tutup kran, digunakan *servo continuous* DS04-NFC yang memiliki spesifikasi berat 38gram, dimensi 40,8x20x39,5mm, bekerja di arus 1000mA, berbahan dasar plastik, dan bekerja di tegangan 4.8V hingga 6V.

Untuk mendapatkan akurasi pembacaan yang lebih tinggi, setiap sensor dikalibrasi dan diuji. Selain itu, untuk alasan keamanan, perancangan perkabelan dan rangkaian elektronika dari semua komponen disimulasikan di perangkat lunak terlebih dahulu.



Gambar 1. Diagram keseluruhan Sistem



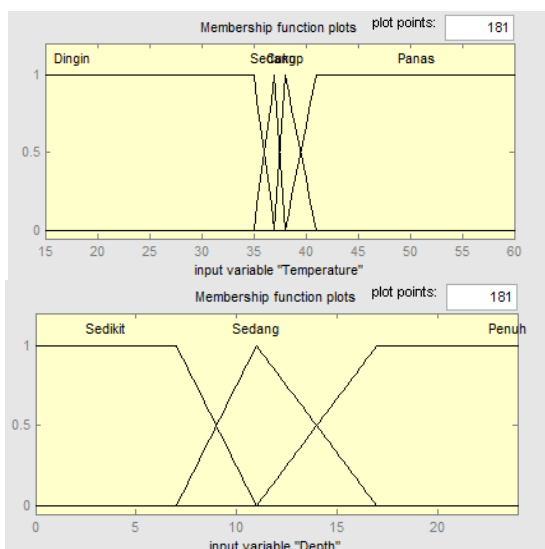
Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol suhu

B. Perancangan Algoritma Fuzzy

Input atau variabel yang masuk ke sistem fuzzy adalah suhu air dan kedalaman air. Proses fuzzy meliputi fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi [16]. Diagram blok kontrol suhu air dengan proses tersebut terlihat pada Gambar 2. Proses pertama dalam algoritma ini adalah fuzzifikasi, mengubah nilai numerik menjadi variabel linguistik dalam bentuk himpunan fuzzy. Proses ini dihitung berdasarkan fungsi keanggotaan seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada variabel suhu (*temperature*), nilai dibagi menjadi 4 himpunan, "dingin," "sedang," "cukup," dan "panas", mengikuti persamaan fungsi segitiga. Sementara variabel kedalaman air (*depth*) dikelompokkan menjadi 3 himpunan, "sedikit," "sedang," dan "penuh". Fungsi keanggotaan ini ditentukan berdasarkan pengalaman dan penguasaan perancang terhadap sistem [11]. Proses ini menghasilkan nilai input fuzzy yang berupa bobot di setiap fungsi keanggotaan.

Tabel 1. Basis aturan nilai *duty cycle* PWM

Depth/ Temp	Dingin	Sedang	Cukup	Panas
Sedikit	70%	70%	0%	0%
Sedang	95%	70%	0%	0%
Penuh	95%	95%	0%	0%



Gambar 3. Fungsi keanggotaan (*membership function*) input fuzzy

Output sistem fuzzy adalah nilai *duty cycle* PWM pemanas air. Penentuan fungsi keanggotaan PWM ini menggunakan observasi pada *module dimmer ac*

melalui mikrokontroler secara langsung dengan mempertimbangkan hasil kinerja yang dicapai pemanas air. Hal tersebut lah yg menjadikan acuan output fuzzy PWM. Basis aturan yang digunakan untuk mekanisme inferensi fuzzy terlihat pada Tabel 1. Contohnya, jika suhu (*Temp*) “dingin” dan kedalaman (*Depth*) “sedang”, maka PWM 95%; jika suhu sedang dan kedalaman sedang, maka PWM 70%; jika suhu cukup dan kedalaman sedang, maka PWM 0%.

Selanjutnya, nilai tegas dihitung dengan cara menimbang kontribusi masing-masing titik fuzzy terhadap nilai output, seperti yang dikenal dengan metode *Weight of Average* (*WoA*). Setiap nilai fuzzy dikalikan dengan bobotnya masing-masing, kemudian menjumlahkan hasilnya, dan dibagi dengan total bobot dari semua titik fuzzy seperti pada (1).

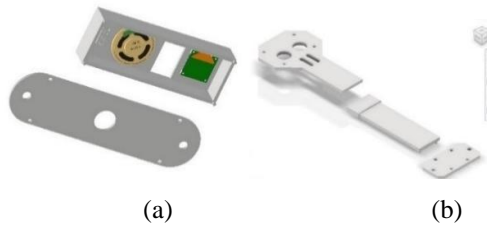
$$WoA = \frac{\sum (y \times weight)}{\sum weight} \tag{1}$$

Pada persamaan tersebut, *WoA* adalah nilai output tegas, *y* adalah nilai output fuzzy dari setiap aturan, dan *weight* adalah bobot yang terkait dengan setiap aturan. Dengan menggunakan *WoA*, kontribusi relatif dari setiap nilai fuzzy di setiap fungsi keanggotaan menentukan nilai tegas.

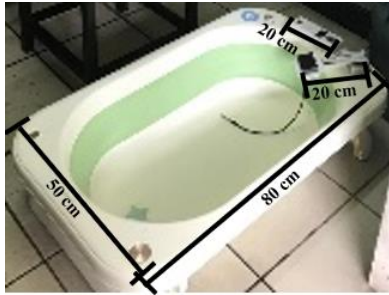
Simulasi dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB. Fungsi keanggotaan dan basis aturan fuzzy diterapkan untuk memastikan sistem kontrol berfungsi dengan benar sebelum diimplementasikan pada perangkat keras. Berbagai kombinasi input diuji untuk menganalisis respons PWM yang dihasilkan, memastikan kesesuaian dengan aturan yang ditentukan sebagaimana mestinya.

C. Perancangan Mekanik

Rancangan mekanik digunakan untuk melindungi komponen-komponen elektronika dari air, seperti *oled*, penguas suara, dan tombol-tombol untuk mengoperasikan sistem. Komponen-komponen tersebut dimasukkan ke kotak putih dan diletakkan di atas bak, seperti terlihat pada Gambar 4. Sedangkan sensor ultrasonik diletakkan menonjol agar tetap dapat membaca kedalaman air. Rancangan mekanik secara keseluruhan terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Rancangan kotak tempat meletakkan (a) komponen elektronika keseluruhan (b) sensor ultrasonik



Gambar 5. Bak mandi bayi yang sudah dipasang perangkat keras

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum algoritma *fuzzy* diimplementasikan pada mikrokontroler, kedua sensor perlu diuji dan dikalibrasi untuk meningkatkan akurasi. Kemudian, mikrokontroler diprogram untuk menerima input dari sensor suhu dan kedalaman air dan mengolah data dengan algoritma *fuzzy*. Sistem diuji dalam kondisi nyata.

#### A. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 dibandingkan dengan Thermo Digital untuk mengetahui dan memastikan akurasi dari Sensor DS18B20. Idealnya, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan sensor yang diuji dengan termometer air raksa. Namun karena keterbatasan, pengujian dilakukan dengan pembandingan sensor dengan tingkat akurasi yang sama. Hal ini merupakan kekurangan sistem yang perlu diperhatikan pada penelitian selanjutnya. Apabila *error* yang terhitung relatif besar, maka perlu dilakukan koreksi output sensor dengan metode regresi linear. Hasil pengujian tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor suhu DS18B20

No	Sensor DS18B20 (°C)	Thermo Digital (°C)	Error (%)
1	28,5	28,9	1,4
2	29	29,9	3
3	33,5	33,3	0,6
4	34	33,9	0,3
:	:	:	:
100	35,5	35,4	0,3

Rata-rata % error pada 100 pengujian = 0,6%

Tabel 3. Hasil pengujian sensor kedalaman HC-SR04

No	Sensor HC-SR04 (cm)	Penggaris (cm)	Error (%)
1	29	29	0,0
2	28	28	0,0
3	26	27	3,7
4	26	26	0,0
:	:	:	:
30	25	25	0,0

Rata-rata % error pada 30 pengujian = 2,52%

Terlihat pada Tabel 2 bahwa masih ada *error* sebesar 0,6 %. Perhitungan *error* tersebut menggunakan rumus yang tertera di (2).

$$Error = \frac{|Referensi - Pengukuran alat|}{Referensi} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan regresi linear, didapatkan persamaan koreksi (3) dengan  $y$  adalah nilai hasil koreksi,  $x$  adalah nilai asli yang keluar dari sensor,  $a$  dan  $b$  adalah parameter yang didapat dari regresi. Persamaan koreksi tersebut dimasukkan ke dalam program Arduino IDE agar mikrokontroler dapat mengeksekusi koreksi pembacaan sensor.

$$y_t = a_t \pm b_t x_t \quad (3)$$

dimana  $a_t = 1.035$ ,  $b_t = -1.289$

#### B. Pengujian Sensor Kedalaman HC-SR04

Pengukuran kedalaman dari sensor ultrasonik HC-SR04 diuji dan dikalibrasi dengan meteran sebagai pembandingan. Kekurangan dari metode pengujian ini adalah ketergantungan pada keterampilan operator dalam membaca meteran secara visual. Pencatatan hasil pembacaan sensor dan meteran dilakukan secara bersamaan, karena air terus bergerak. Terlihat dari Tabel 3, *error* pembacaan sensor masih 2,5%. Oleh karena itu, dibuatlah plot grafik antara bacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan meteran untuk mendapatkan hubungan antar keduanya menggunakan metode regresi linear. Hubungan kedua variabel tersebut atau disebut juga persamaan koreksi terlihat pada (4).

$$y_u = a_u \pm b_u x_u \quad (4)$$

dimana  $a_u = 1.008$ ,  $b_u = -0.239$

#### C. Pengujian Metode Fuzzy

Algoritma *fuzzy* yang sudah dirancang, diimplementasikan pada mikrokontroler menggunakan bahasa C++ dan diuji pada kondisi nyata apakah output PWM sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan dengan berbagai contoh kondisi suhu dan kedalaman air. Pengujian ini sudah melibatkan kedua sensor sebagai input. Pengujian dilakukan pada 2 kondisi yaitu saat simulasi di perangkat lunak MATLAB dan saat implementasi pada mikrokontroler dengan sistem yang nyata.

Tabel 4 menunjukkan bahwa kesamaan nilai antara simulasi algoritma dengan saat diimplementasikan adalah tinggi dengan prosentase rata-rata 99,72%. Hal ini bisa diraih karena pe mbacaan sensor yang sudah akurat. Pada algoritma yang dirancang, nilai suhu yang ingin dicapai adalah sebesar 39°C. Contohnya, apabila input suhu 39°C dan kedalaman 17cm maka dapat dinyatakan air tersebut tidak perlu dipanaskan lagi (*duty cycle* PWM 0%) dan kran keluar terbuka.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04

No	Input Suhu (°C)	Input Kedalaman (Cm)	Simulasi Output PWM (%)	Implementasi Output PWM (%)	Akurasi (%)
1	32	10	89.01	88.62	99,96
2	37	10	70.19	70.19	100
3	39	10	0	0	100
4	32	14,5	95.29	94.90	99,96
5	37	14,5	84.70	83.92	99,91
6	39	14,5	0	0	100
7	32	17	95.29	94.90	99,96
8	37	17	95.29	94.90	99,96
9	39	17	0	0	100
10	32	22	95.29	95.29	100
11	37	22	95.29	94.90	99,96
12	39	22	0	0	100

Tabel 5. Hasil pengujian keseluruhan

No	Input Suhu (°C)	Input Kedalaman (Cm)	Waktu yang dibutuhkan menuju <i>setpoint</i>		
			Uji 1	Uji 2	Uji 3
1	24	18	5,18	3,37	3,44
2	28	18	3,54	3,21	3,29
3	30	18	2,45	3,23	3,29
4	32	18	3,47	3,15	3,51
5	34	18	3,20	3,39	4,3
Rata-rata waktu kran mengeluarkan air			4 menit 48 detik		
Rata-rata waktu untuk menaikkan suhu 2°C			2 menit 59 detik		



Gambar 7. Pengujian keseluruhan sistem

#### D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian terakhir dilakukan dengan menambahkan pemanas air dan bukaan kran masuk dan keluar sebagai aksi kontrol. Nilai dari pembacaan kedua sensor dikirim melalui komunikasi UART pada Arduino nano

untuk mengatur tegangan dan nilai *duty cycle* PWM pada *modul dimmer* sesuai algoritma yang sudah diimplementasikan di mikrokontroler. Gambaran pengujian ini terlihat pada Gambar 7. Berdasarkan 13 kali pengujian, rata-rata waktu untuk menaikkan suhu 2°C sebesar 2,99 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan kran untuk mengatur kedalaman sebesar 4,8 menit. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* terlihat pada Tabel 5.

Pada saat suhu 24°C, tentu akan memakan waktu yang lebih lama untuk memanaskan air hingga suhu yang diinginkan. Akan tetapi pada saat suhu 28°C, 30°C, 32°C, dan 34°C, selisih waktu yang tercatat tidak terlalu jauh. Hal ini mungkin karena semakin dekat dengan *setpoint*, nilai PWM semakin kecil, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu *setpoint* menjadi tidak terlalu berbeda. Berdasarkan algoritma, apabila suhu masih jauh dari *setpoint*, PWM bernilai besar agar suhu cepat mencapai *setpoint*. Pada kondisi kedalaman air tergolong penuh, maka kran yang berfungsi membuang air akan terbuka hingga kedalaman mencapai *setpoint* dan *buzzer* berbunyi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat membuat nilai suhu dan kedalaman air sesuai yang diinginkan. Sehingga, keamanan dalam memandikan bayi terjamin.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem mampu mendeteksi suhu air dengan keakuratan sebesar 99,35% dan mendeteksi kedalaman air dengan keakuratan sebesar 97,48%. Keakuratan pembacaan sensor membuat hasil algoritma *fuzzy* yang diimplementasikan pada mikrokontroler dapat mengeluarkan nilai *duty cycle* PWM yang sesuai. Pengujian sistem keseluruhan mengindikasikan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik, dengan waktu rata-rata untuk menaikkan suhu 2°C sebesar 2,99 menit dan waktu yang dibutuhkan kran untuk mengatur kedalaman sebesar 4,8 menit.

#### REFERENSI

- [1] E. Sukmawati and N. D. N. Imanah, "EFEKTIVITAS PIJAT BAYI TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS TIDUR BAYI," *Jurnal Kesehatan Al-Irsyad*, vol. 13, no. 1, 2020.
- [2] R. Anggraini and V. Nopitasari, "PENGARUH ASUHAN KEBIDANAN PADA BAYI BARU LAHIR TERHADAP KEMAMPUAN IBU DALAM MEMANDIKAN BAYI DAN MERAWAT TALI PUSAT BAYI BARU LAHIR DI BPM LISMARINI PALEMBANG," *Jurnal Kesehatan Abdurrahman*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, Mar. 2020, doi: 10.55045/jkab.v9i1.99.
- [3] S. Chikazawa and A. Sasaki, "A Survey of Dangers Experienced by Mothers and Families of Infants Aged 3 - 4 Months during Ablution and Bathing," *Health N Hav*, vol. 13, no. 11, pp. 1242–1269, 2021, doi: 10.4236/health.2021.1311091.
- [4] A. E. Peden, R. C. Franklin, and J. H. Pearn, "Unintentional fatal child drowning in the bath: A 12-year Australian review (2002–2014)," *J Paediatr Child Health*, vol. 54, no. 2, pp. 153–159, Feb. 2018, doi: 10.1111/jpc.13688.

- [5] S. A. Denny et al., "Prevention of Drowning," *Pediatrics*, vol. 148, no. 2, Aug. 2021, doi: 10.1542/peds.2021-052227.
- [6] K. New, "Evidence-based guidelines for infant bathing," *A Research ReviewTM Educational Series*.
- [7] S. P. L. Limin, "Research on Temperature Control System of Baby Bath Center Based on Fuzzy PID Control," *Iberian Journal of Information System and Technologies*, no. 18A, pp. 306–315, Jun. 2016.
- [8] N. Febrianto, E. Susanto, and A. S. Wibowo, "Rancang Bangun Kontrol Suhu Air Pada Prototype Pemanas Air Menggunakan Metode Fuzzy," in *eProceedings of Engineering*, 2016.
- [9] F. Fasya, T. Prihandono, and A. Harijanto, "RANCANG BANGUN ALAT FERMENTOR KOPI TERKENDALI MENGGUNAKAN ELEMEN PEMANAS BERBASIS ARDUINO UNO," *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, vol. 8, no. 2, p. 307, Nov. 2022, doi: 10.31764/orbita.v8i2.11161.
- [10] I. Ismail and E. Susanto, "Implementasi Logika Fuzzy Dan Kalman Filter Untuk Kendali Lengan Robot Menggunakan Gestur Tangan Manusia Implementation of Fuzzy Logic and Kalman Filter For Robotic," in *e-Proceeding of Engineering*, 2015, pp. 7019–7027.
- [11] A. I. Alhassan, A. C. Mohammed, and B. Andrew, "Comparison Between Fuzzy Logic and PID Controllers in Temperature Control of Laboratory Incubator," *International Journal of Science and Engineering Applications*, pp. 133–138, Oct. 2022, doi: 10.7753/IJSEA1110.1004.
- [12] C. Karakuzu, "An experimental comparison of fuzzy, neuro and classical control techniques," in *21st IEEE Convention of the Electrical and Electronic Engineers in Israel. Proceedings (Cat. No.00EX377)*, IEEE, 2000, pp. 160–166. doi: 10.1109/EEEI.2000.924354.
- [13] M. F. Akbar and D. Irawan, "Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Fuzzy Logic," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 23, Jun. 2023, doi: 10.30595/jrre.v5i1.17547.
- [14] N. Alfitri, Efrizon, D. Kurniadi, C. D. Nufus, and A. Hidayat, "Sistem Smart Garden Tanaman Bayam Menggunakan Metode Fuzzy Logic" *Elektron: Jurnal Ilmiah*, vol 15, no. 2, p. 88-93, Des. 2023, doi: <https://doi.org/10.30630/eji.0.0.417>
- [15] J. E. Martinez Baquero, J. C. Ortega, and R. J. Moreno, "Embedded fuzzy controller for water level control," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 12, no. 1, p. 277, Feb. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i1.pp277-284.
- [16] F. Piltan, N. Sulaiman, P. Ferdosali, M. Rashidi, and Z. Tajpeikar, "Adaptive MIMO Fuzzy Compensate Fuzzy Sliding Mode Algorithm: Applied to Second Order Nonlinear System." *International Journal of Engineering* 5, no. 5, May 2011, pp. 380-398.