

# Analisis Perbandingan penggunaan Daya Pengendali Bang Bang dan Pengendali Fuzzy Pada Pemanas Air

## Comparative Analysis of Power Consumption in Bang-Bang and Fuzzy Controllers for Water Heater Systems

Fhadil Yulishesha Rahmana<sup>1</sup>, Yulian Zetta Maulana<sup>1\*</sup>, Gunawan Wibisono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Teknik Elektro, Universitas Telkom Kampus Purwokerto,  
Jl. DI Panjaitan 128, Purwokerto*

\*Corresponding author: Yulianm@telkomuniversity.ac.id

Received on 30-10-2025, accepted on 12-12-2025, published on 31-01-2026

### Abstrak

Pemanas air pada umumnya menggunakan sebuah sistem kendali Bang Bang untuk mengontrol suhu air yang ada didalamnya. Namun pemanas air yang saat ini tersedia di pasaran masih menggunakan daya yang cukup besar. Sehingga perlu dicari sistem pengendali yang menghabiskan daya listrik yang lebih kecil serta waktu pemanasan yang lebih singkat. Pada penelitian ini, dilakukan pengendalian suhu pemanas menggunakan pengendali Fuzzy. Penelitian ini bertujuan membandingkan penggunaan daya antara sistem kendali Bang-bang dan kendali Fuzzy dalam proses pemanasan air. Penelitian dilakukan dengan membandingkan penggunaan daya antara sistem kendali bang-bang dan fuzzy berdasarkan daya yang digunakan dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai set point yang ditentukan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sistem kendali fuzzy memakai lebih sedikit daya dan waktu yang lebih cepat dibandingkan sistem kendali bang-bang. Dengan besar daya rata rata yaitu 361W dan waktu rata rata sebesar 605 s. Sementara Kendali Bang-Bang menghabiskan daya 371 watt dengan waktu rata-rata sebesar 655 detik. Kendali Fuzzy juga memiliki nilai simpangan baku yang lebih kecil untuk Daya dan Respon waktu rata-rata dibandingkan kendali bang-Bang. Di mana nilai simpangan baku pada daya untuk pengendali Bang Bang adalah sebesar 2,28 sementara simpangan baku pada pengendali Fuzzy adalah 1,61. Untuk time settling, nilai simpangan baku untuk pengendali Bang Bang adalah 10,61, sementara untuk pengendali Fuzzy adalah 2,41. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem pemanas yang dikendalikan oleh pengendali Fuzzy menghabiskan daya dan time settling yang lebih kecil dibandingkan pengendali bang Bang. Sistem yang dikendalikan dengan pengendali Fuzzy juga memiliki nilai presisi yang lebih baik.

**Kata kunci:** Pemanas Air, Daya Listrik, Kendali Bang-Bang, Kendali Fuzzy, Set Point

### Abstract

Water heaters generally use a Bang Bang control system to control the temperature of the water inside. However, water heaters currently available on the market still use quite a lot of power. So it is necessary to find a control system that consumes less electricity and has a shorter heating time. In this study, the heater temperature control was carried out using a Fuzzy controller. This study aims to compare the power consumption between the Bang-bang control system and the Fuzzy control in the water heating process. The study was conducted by comparing the power consumption between the bang-bang and fuzzy control systems based on the power used and the time required to reach the specified set point. From the results of the study, it was found that the fuzzy control system uses less power and a faster time than the bang-bang control system. With an average power of 361W and an average time of 605 s. While the Bang-Bang Control consumes 371 watts of power with an average time of 655 seconds. The Fuzzy Control also has a smaller standard deviation value for Power and Average Response Time

compared to the bang-bang control. Where the standard deviation value on power for the Bang Bang controller is 2.28 while the standard deviation on the Fuzzy controller is 1.61. For settling time, the standard deviation value for the Bang Bang controller is 10.61, while for the Fuzzy controller is 2.41. So it can be concluded that the heating system controlled by the Fuzzy controller consumes less power and settling time than the Bang Bang controller. The system controlled by the Fuzzy controller also has a better precision value.

**Keywords:** Water Heater, Electrical Power, Bang-Bang Control, Fuzzy Control, Set Point

## I. PENDAHULUAN

Pada umumnya pemanas air menggunakan sebuah sistem kendali yang disebut dengan pengendali Bang-bang, di mana sistem akan memanaskan air sampai suhu tertentu lalu mematikannya, untuk kembali menyalakannya saat suhu air di bawah nilai ambang bawah[1]. Dengan sistem kendali ini, pemanas air akan memanaskan air hingga suhu tertentu dan akan mati jika telah mencapai suhu yang ditentukan. Pada pemanas air biasanya memiliki nilai set point suhu pada 48.9 – 60 derajat celcius[2]. Semakin tinggi nilai set point yang ditetapkan maka akan semakin besar penggunaan daya pada pemanas air.

Alasan mengapa industri lebih suka memproduksi pemanas atau dispenser penggunaan pengendali Bang-Bang adalah karena pemanas menggunakan pengendali ini lebih mudah dibuat. Tidak dibutuhkan set poin yang pasti selama air berada di atas suhu tertentu. [3] Namun karena pemanas ini berulang kali menyalakan dan mematikan daya listrik, penggunaan daya listrik pada pemanas jenis itu akan besar. Sehingga dalam jangka panjang akan menyebabkan pemborosan listrik. Sehingga dipandang perlu untuk menggunakan jenis pengendali lain[4]. Penelitian ini diusahakan bisa menjembatani kebutuhan pemanas dengan sistem pengendali yang tidak rumit, tetapi juga bisa hemat daya. Sehingga secara optimal mudah diproduksi dengan harga yang tidak terlalu mahal.

Sistem kendali merupakan suatu sistem yang dirancang untuk mengatur, mengawasi dan mengelola perilaku suatu sistem atau proses dengan cara mengendalikan variabel input atau output[5]. Penggunaan sistem kendali dapat membantu meningkatkan efisiensi, keamanan dan kinerja proses sehingga sangat banyak digunakan dimana saja. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam sistem kendali antara lain metode pengendali Bang-bang dan metode logika Fuzzy. Kedua metode tersebut dapat menghasilkan karakteristik, performa, dan efisiensi yang berbeda beda pada sebuah alat yang sama[6].

Metode pengendali Bang-bang atau yang biasa disebut on-off control merupakan sebuah metode dalam sistem kendali yang tindakan pengendaliannya dilakukan secara biner atau diskrit, yaitu sistem hanya dalam dua keadaan “nyala” atau “mati”[5]. Metode pengendali Bang-bang sering digunakan dalam situasi dimana kinerja yang presisi atau pengendalian yang halus tidak terlalu penting. Sehingga sistem hanya perlu mencapai suatu nilai tertentu untuk melakukan tindakan. Metode ini tergolong cukup sederhana dan dapat difungsikan kedalam beberapa aplikasi. Namun, sistem yang menggunakan metode pengendali Bang-bang dapat menghabiskan daya yang lebih banyak daripada yang seharusnya. Besar daya pemanas dispenser sebenarnya bervariasi dan tergantung merk, dengan rentang daya yang dibutuhkan di antara 300 watt sampai 500 watt. Sehingga mengakibatkan konsumsi energi yang tidak efisien[6]. Metode pengendalian logika Fuzzy merupakan suatu teknik pengendalian yang didasarkan pada konsep logika Fuzzy. Hal ini memungkinkan sistem kendali untuk menangani situasi di mana variabel yang digunakan untuk kendali tidak hanya benar atau salah (ON atau OFF) tetapi juga dapat memiliki derajat keanggotaan yang berbeda-beda antara benar dan salah[7]. Metode kendali logika Fuzzy berguna ketika berhadapan dengan sistem yang kompleks, ambigu, dan sulit diukur secara akurat, dan ketika dibandingkan dengan kendali PID, memiliki kelebihan dari keleluasaan menentukan parameter pengendalinya[8].

Penggunaan pengendali Fuzzy pada pemanas air memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi daya dibandingkan dengan sistem pengendali Bang-bang. Pengendali Fuzzy juga dapat digunakan sebagai alat penalaan otomatis pada sistem yang menggunakan pengendali PID[9]. Berbeda dengan pengendali Bang-bang yang bekerja secara on/off tanpa memperhitungkan kondisi sebenarnya. Pengendali Fuzzy dapat memberikan respon yang lebih adaptif terhadap perubahan suhu dan kebutuhan pengguna. Hal ini membuat pengendali Fuzzy memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan daya pada pemanas air elektrik[10].

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian ini, yang dianalisis adalah perbandingan kinerja kendali sistem pemanas yang biasa digunakan pada dispenser yaitu kendali bang-bang, dengan kendali Fuzzy. Hampir semua pemanas

dispenser menggunakan pengendali Bang-bang, yang menurut hipotesis awal menghabiskan daya lebih besar tapi lebih mudah untuk didesain [11]. Penggunaan kendali fuzzy untuk dispenser masih belum lazim, sehingga perlu diteliti seberapa efektif kendali fuzzy untuk digunakan pada pemanas air. Penelitian berfokus pada desain dan implementasi dua sistem kontrol yang berbeda, serta perbandingan tanggapannya masing-masing. Berbeda dengan sistem logika yang membingungkan, yang menggunakan metode mamdani, sistem PID yang sedang diimplementasikan menggunakan metode heuristik, yang juga dikenal sebagai trial error. Nilai overshoot, error steady state, time rise, dan time peak yang secara signifikan lebih rendah dalam sistem PID dibandingkan dengan sistem logika fuzzy.

Sebuah studi tentang kontrol suhu air menggunakan logika fuzzy sebelumnya pada penelitian [12]. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengendalian suhu air lebih efisien dengan waktu yang sedikit lebih singkat yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu  $1^{\circ}\text{C}$ , mengambil 45 detik, dan untuk menurunkan suhu dengan  $1^{\circ}\text{C}$ , mengambil 40 detik. Semakin besar perbedaan antara suhu awal dan suhu titik set, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pengontrol suhu untuk mengatur suhu. Namun belum diukur nilai presisi dari pengendali fuzzy tersebut ketika dibandingkan dengan pemanas biasa.

Penelitian[13] mengembangkan sistem pengaturan suhu ketel listrik dengan menambahkan metode pengontrol Fuzzy. Mikrokontroler yang digunakan ialah NodeMCU ESP8266 agar dapat ditampilkan hasil monitoring suhu pada sebuah aplikasi android. Dengan menggunakan metode Fuzzy logic sugeno menunjukkan waktu respons sedikit lebih lambat ketika nilai kesalahan kurang dari  $5^{\circ}\text{C}$ , dengan fluktuasi suhu maksimum  $1^{\circ}\text{C}$  di sekitar set point. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa metode pengontrol Fuzzy dapat bekerja dengan baik pada ketel elektrik. Dengan adanya implementasi pengontrol Fuzzy tersebut, suhu juga terkontrol dengan lebih baik. Tapi tingkat keefektifannya belum dibandingkan dengan pengendali Bang-bang.

Pada penelitian [14] tersebut dilakukan analisis perbandingan konsumsi daya untuk 2 jenis sistem pemanas air pada tiga kota di wilayah Kurdistan, Irak. Sistem pemanas air sistem tenaga surya dipasang untuk keperluan rumah tangga menggantikan sistem pemanas air listrik yang biasa digunakan. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa penggunaan sistem pemanas air tenaga surya dapat mengurangi konsumsi daya yang cukup besar. Bahkan bisa mencapai angka 5 kWh untuk satu harinya. Dari data penelitian tersebut membuktikan bahwa sistem pemanas air yang saat ini dipakai mengonsumsi daya yang cukup besar. Dengan demikian, penelitian ini akan terasa manfaatnya saat dihybrid dengan pengendali Fuzzy.

Penelitian [14] menggunakan Life Cycle Cost (Lcc). Perbandingan antar kedua Water Heater ini didasarkan pada modal awal, umur pemakaian, biaya tarif listrik, dan biaya pemeliharaan. Solar Water Heater memiliki umur pemakaian yang lebih lama daripada electric Water Heater yaitu tahan hingga 20 tahun sedangkan electric Water Heater hanya sekitar 5 tahun. Untuk tarif biaya listrik, electric Water Heater memiliki biaya operasi listrik yang lebih besar daripada solar Water Heater. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa electric Water Heater memiliki biaya operasional dan konsumsi daya listrik yang tinggi daripada solar Water Heater. Namun solar water heater memiliki keterbatasan pada panas air yang dihasilkan yang tidak setinggi panas yang dihasilkan dari elektrik water heater. Solar water heater juga membutuhkan batere yang harganya cukup mahal.

Dalam penelitian [15] ini, metoda fuzzy digabungkan dengan jaringan saraf tiruan, menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. Sistem ini cocok jika pemanas mendapatkan banyak gangguan sehingga parameter sistemnya berubah-ubah. Namun algoritma sistem ini cukup rumit dan tidak dapat diterapkan pada pengendali mikrokontroler dengan memory yang kecil. Sementara pada sistem pemanas air pada umumnya tidak memiliki variasi gangguan yang ada. Sehingga metode fuzzy biasa sudah cukup untuk digunakan. Karena metode fuzzy bisa digunakan pada pemanas tanpa harus membuat biaya produksi pemanas bertambah secara signifikan.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Perancangan Hardware dan Software

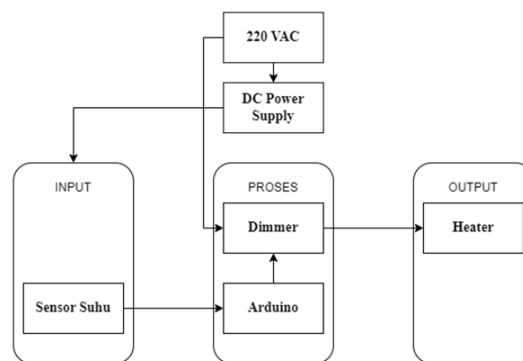
Pemanas air adalah perangkat yang berfungsi untuk menaikkan suhu air ke tingkat tertentu sehingga dapat digunakan sesuai keinginan pengguna. Ada berbagai jenis pemanas air, seperti penghangat air listrik, pemanas air tenaga matahari, dan boiler listrik. Umumnya, pemanas air melayani dua fungsi, yaitu memanaskan air menggunakan energi listrik dan menyimpan air panas selama periode waktu tertentu. Energi listrik yang diperoleh dari sumber dikirim ke pemanas air dan diubah menjadi energi termal untuk meningkatkan suhu air di dalam pemanas. Arus listrik yang mengalir ke pemanas air menghasilkan panas,

yang pada gilirannya mengubah keadaan atau suhu air di dalam pemanas. Proses ini berlangsung secara progresif untuk meningkatkan suhu total udara di dalam tangki penyimpanan pemanas udara. Termostat akan mempertahankan tingkat panas tertentu yang ditetapkan oleh pengguna. Elemen listrik akan diaktifkan ketika suhu air turun ke nilai tertentu, sehingga meningkatkan ketersediaan air panas. Jenis lain tangki penyimpanan listrik memiliki dua elemen listrik, masing-masing dikendalikan oleh termostat sendiri[16].

Sistem kendali Fuzzy adalah sistem yang dapat melakukan proses penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Fuzzy memiliki arti kabur atau tidak jelas, yang dimana sistem kendali Fuzzy ini tidaklah seperti logika tegas yang mengenal dua nilai salah dan benar atau nol dan satu[17]. Logika Fuzzy mengenal nilai nilai yang berada diantara benar dan salah atau nilai diantara 0 dan 1 yang dapat dinyatakan oleh derajat kebenaran. Logika Fuzzy dapat mengidentifikasi sistem seperti manusia dalam mengidentifikasi suatu masalah.

Pengendali Bang-bang, juga dikenal sebagai pengendali dua posisi, adalah sistem kontrol yang beroperasi dari nilai awal untuk mencapai nilai yang ditentukan sebelumnya, juga dikenali sebagai titik set. Sistem kontrol ini diklasifikasikan sebagai sistem kontrol loop tertutup[18]. Sistem kontrol loop tertutup akan membandingkan output sistem dengan respon output yang diinginkan. Sinyal output disebut sebagai sinyal umpan balik dari sistem kontrol.

Untuk blok diagram sistem dapat dilihat pada gambar 1.

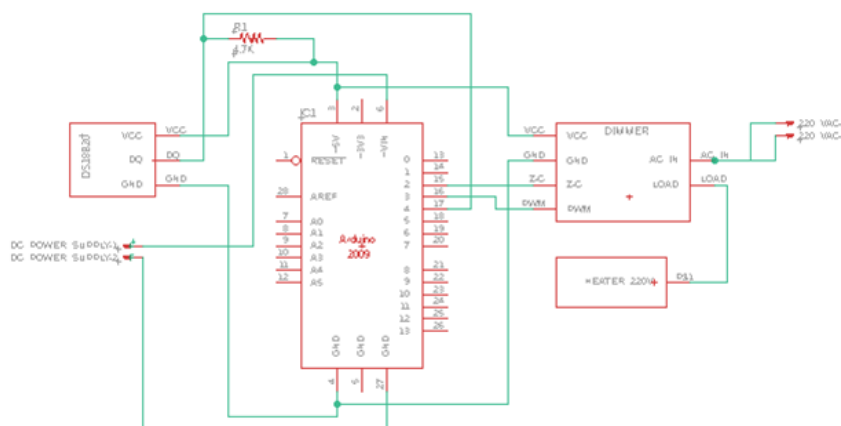


Gambar 1. Blok Diagram sistem Pemanas

Pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dihubungkan ke dimmer AC yang terhubung dengan Wattmeter dan tegangan 220 VAC. Dimmer AC ini berfungsi untuk mengontrol daya listrik yang diberikan kepada Water Heater. Sensor DS18B20 akan membaca nilai suhu pada air yang dipanaskan dan mengirimkan data pembacaannya ke arduino untuk melakukan tindakan terhadap Dimmer AC berdasarkan sistem kendali yang digunakan.

Dalam sistem kendali Bang-bang, jika suhu batas atas telah tercapai sistem akan mengirimkan data agar arduino dapat mematikan pemanas melalui Dimmer AC. Jika suhu batas bawah yang tercapai, maka arduino akan menghidupkan pemanas melalui Dimmer AC. Penggunaan daya dapat dilihat dari saat pemanas diaktifkan hingga pemanas dimatikan melalui pengukuran yang terbaca oleh Wattmeter

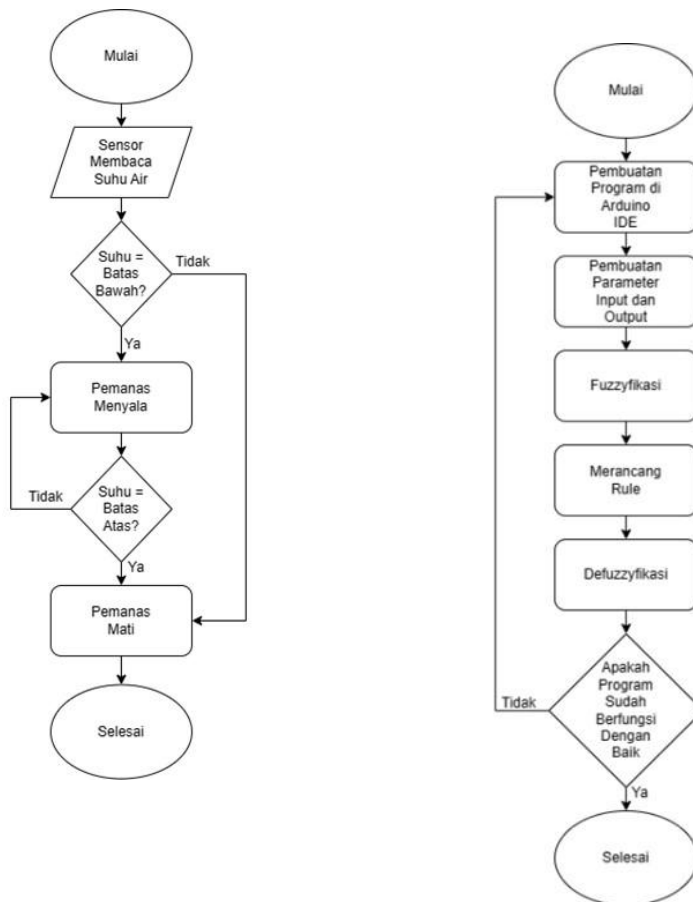
Sementara untuk wiring Diagram dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Wiring Diagram Sistem

Gambar 2 menampilkan rangkaian dari sistem pemanas air yang dibuat. Terdapat komponen seperti sensor suhu DS18B20, arduino UNO, Heater 220V, Dimmer AC, dan resistor 4,7K ohm. Sensor suhu DS18B20 dihubungkan ke pin 4 untuk kaki DQ, pin 5V untuk kaki VCC, dan pin GND untuk kaki GND. Heater dihubungkan ke dimmer AC melalui pin beban atau load, sementara untuk pin AC in pada dimmer AC atau sumber tegangannya berasal dari listrik rumah 220 VAC. Dimmer memiliki 4 pin yang dihubungkan ke arduino, dimana pin Z-C dihubungkan ke pin 2 agar bisa melakukan perintah interrupt dan pin PWM dihubungkan ke pin 3 karena pin tersebut dapat mengendalikan pwm melalui arduino UNO. DC Power Supply digunakan sebagai tegangan input untuk arduino UNO.

Untuk flowchart Kendali Bang-bang dan Fuzzy dapat dilihat pada gambar 3.



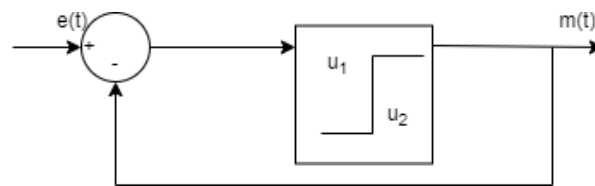
Gambar 3. Flowchart Sistem Kendali Bang Bang dan Fuzzy

Dari Flowchart pada gambar 3 dapat dijelaskan bahwa sensor akan melakukan pembacaan nilai terhadap suhu air yang ada dalam gelas takar. Jika suhu yang terbaca sama dengan batas bawah suhu yang ditentukan, maka pemanas akan dinyalakan dan mulai memanaskan air yang ada didalam gelas takar. Ketika suhu telah mencapai batas atas suhu yang ditentukan, maka pemanas akan dimatikan. Proses ini akan berlangsung berulang sesuai dengan konsep dari pengendali Bang-bang yaitu on/off. Batas bawah suhu air menjadi kontrol on untuk pemanas dan batas atas suhu air menjadi kontrol off untuk pemanas.

### 1. Sistem Kendali Bang-Bang

Pada pengendali bang-Bang, Controller on-off dianggap sebagai sistem kontrol yang relatif sederhana. Sinyal output dari controller dinyatakan sebagai  $u(t)$  sedangkan sinyal kesalahan didorong dinyatakan

sebagai  $e(t)$ . Dalam pengendali Bang-bang, sinyal  $u(t)$  akan tetap pada nilai maksimum atau minimal, tergantung pada apakah sinyal kesalahan aktuasi bernilai positif atau negatif, sehingga



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kendali Bang-Bang

Sistem kendali bang-bang merupakan sistem kendali yang sangat sederhana dan biayanya tidak mahal, sehingga sangat banyak digunakan pada sistem kendali yang ada di industri maupun di kehidupan sehari-hari. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan [19] (1)

$$\begin{aligned} m(t) &= u_1 \text{ untuk } e(t) > 0 \text{ atau posisi "on"} \\ m(t) &= u_2 \text{ untuk } e(t) < 0 \text{ atau posisi "off"} \end{aligned} \quad (1)$$

di mana

- $e(t)$  = masukan/input pada saat  $t$
- $m(t)$  = keluaran/output pada saat  $t$  ( kondisi on/off)
- $u_1$  = upper set point
- $u_2$  = lower set point

Dengan  $u_1$  dan  $u_2$  konstan. Pada penelitian ini, nilai  $u_1$  dan  $u_2$  adalah  $95^\circ\text{C}$  dan  $85^\circ\text{C}$

. Di mana  $u_1$  adalah batas atas suhu dan  $u_2$  adalah batas bawah suhu. Artinya sistem akan mematikan pemanas pada suhu  $95^\circ\text{C}$  dan menyalakan pemanas pada suhu  $85^\circ\text{C}$

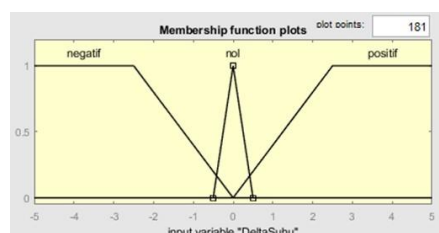
#### A. Sistem Kendali Fuzzy

Perancangan sistem kendali Fuzzy diawali dengan membuat rancangan program sistem kendali Fuzzy dengan software Arduino IDE. Yaitu menentukan parameter-parameter yang digunakan dalam pengukuran suhu air. Parameter-parameter yang dimaksud adalah parameter input dan output. Setelah menentukan parameter input dan output yang akan digunakan, proses Fuzzifikasi dilakukan. Dengan mengolah data masukan yang telah ditentukan dengan fungsi keanggotaan negatif, nol, dan positif dalam bentuk fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga[20]. Untuk fungsi keanggotaan output berupa pwm yaitu rendah, sedang, dan tinggi dalam bentuk fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga. Di mana Persamaannya adalah:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases}$$

$$\mu[x, b, a] = \begin{cases} 0 & , x < a \text{ atau } x > c \\ (x - a)/(b - a) & , a \leq x \leq b \\ (c - a)/(c - b) & , b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

Sementara fungsi keanggotaan sistem untuk input dapat dilihat pada gambar 4



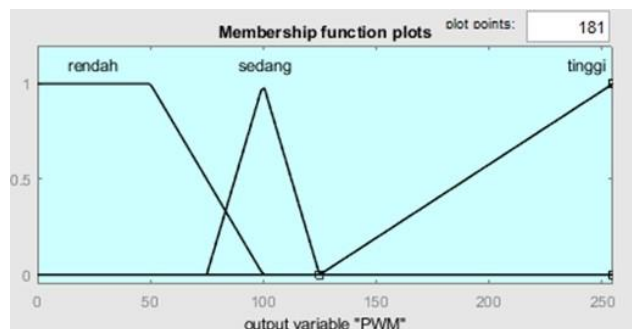
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan input delta suhu

Setelah parameter input dan output telah ditentukan, langkah berikutnya adalah untuk menetapkan aturan atau peraturan logika Fuzzy. Pembuatan aturan dalam logika Fuzzy berfungsi sebagai koneksi antara parameter input dan output dengan menggunakan fungsi operator if-then.

- [1] IF ΔSuhu is Negatif, Then PWM is Rendah
- [2] IF ΔSuhu is Nol, Then PWM is Sedang
- [3] IF ΔSuhu is Positif, Then PWM is Tinggi

Langkah berikutnya adalah proses defuzzifikasi, yang merupakan prosedur untuk mengkonversi setiap hasil variabel yang sebelumnya tidak jelas menjadi variabel tegas atau jelas. Setelah menyelesaikan semua proses dalam Fuzzy Logic Controller, pengujian program dilakukan untuk memastikan bahwa program dapat bekerja dengan benar. Jika ada program yang tidak berfungsi dengan baik, pemeriksaan dan desain ulang dari program yang dibuat sebelumnya akan dilakukan. Setelah perangkat lunak yang dirancang berfungsi dengan baik, desain sistem kontrol Fuzzy dianggap lengkap dan dapat melanjutkan ke pengumpulan dan analisis data. Perhitungan DeFuzifikasi dilakukan dengan menggunakan persamaan 3. Di mana prosesnya dapat dilihat pada gambar 5. Metode Defuzifikasi yang digunakan adalah metode mamdani.

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx} \tag{3}$$



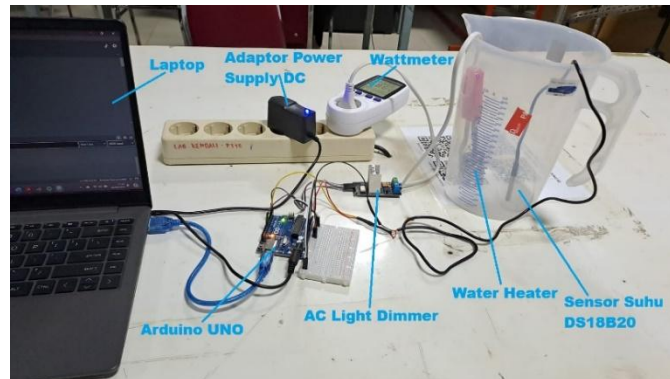
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan output PWM

Output PWM akan terhubung dengan dimmer, lalu ke pemanas. Setelah itu dilakukan pengukuran Daya pemanas yang digunakan untuk memanaskan air.

## 2. *Prosedur pengujian*

Pemanas air ini menggunakan listrik AC rumahan sebagai power supply untuk menjalankan sistem yang dibuat. Dengan menggunakan sebuah adaptor 12V DC sumber tegangan dari listrik AC rumahan dapat digunakan sebagai sumber tegangan arduino UNO. Sementara untuk Water Heater 350W menggunakan listrik AC 220V secara langsung yang dihubungkan dengan wattmeter untuk mengukur daya yang digunakan. Sementara untuk mengatur nilai pwm yang dikeluarkan ke Water Heater, digunakan sebuah AC light dimmer. Terdapat sebuah wadah yang digunakan untuk menampung air yang akan dipanaskan dengan volume air yang digunakan sebanyak 500 mL. Didalam wadah air tersebut diletakkan sebuah Water Heater dan sensor suhu DS18B20. Laptop digunakan untuk memprogram sistem kendali Bang-bang dan Fuzzy pada pemanas air. Nilai suhu dan pwm yang dikeluarkan juga ditampilkan melalui serial monitor arduino IDE yang ada di laptop.

Untuk susunan peralatan saat pengujian ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. Konfigurasi pengujian pengukuran daya

Tahapan eksperimennya meliputi pengukuran akurasi sensor suhu, daya yang digunakan, waktu settling pada pemanas saat menggunakan pengendali Fuzzy dan pengendali bang-bang. Untuk pengukuran akurasi sensor suhu, dilakukan sebanyak 20 kali. Sementara untuk pengukuran daya yang dibutuhkan pada pemanas menggunakan pengendali Fuzzy dan Bang-Bang dilakukan 10 kali. Dari hasil pengukuran dilakukan perhitungan nilai presisi dari daya dan waktu settling menggunakan kedua pengendali tersebut.

#### IV. HASIL DAN ANALISIS

##### A. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan sebuah termometer digital. Sensor suhu DS18B20 dan termometer ditaruh secara berdekatan untuk mendeteksi suhu air yang ada dalam wadah dan melihat hasil pembacaannya masing masing. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor suhu yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan dengan melihat nilai error dari pembacaan sensor. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Akurasi Sensor suhu

No.	Sensor (°C)	Termometer (°C)	Error (%)	Akurasi (%)
1	28,25	28,3	0,17	99,83
2	31,37	31,8	1,35	98,65
3	41,25	42,5	2,94	97,06
4	48,25	48,3	0,1	99,9
5	50,38	50,8	0,8	99,2
6	52,38	52,7	0,6	99,4
7	56,13	56,6	0,83	99,17
8	58,17	58,5	0,56	99,44
9	60,63	61,3	1,09	98,91
10	62,38	62,9	0,82	99,18

11	64,44	64,6	0,24	99,76
12	66,62	65,9	1,09	98,91
13	68,31	68	0,45	99,55
14	70,19	69,3	1,28	98,72
15	75,19	74,5	0,92	99,08
16	78,12	77,8	0,41	99,59
17	80,37	80,2	0,21	99,79
18	84,62	85,4	0,91	99,09
19	87,6	88,1	0,56	99,44
20	90,25	90,3	0,05	99,95
<b>Akurasi Sensor (Akurasi Rata-Rata)</b>				99,23%

Dari tabel terlihat bahwa sensor yang digunakan memiliki Tingkat akurasi yang tinggi untuk semua rentang suhu yang digunakan.

## B. Hasil Pengujian Sistem Kendali Bang-Bang

Pada penelitian ini suhu batas bawah yang digunakan adalah 85°C dan suhu batas atas yang digunakan adalah 95°C. Ini artinya pemanas air yang dirancang akan menyala pada saat suhu berada dibawah 85°C dan akan terus menyala hingga suhu mencapai batas atas yaitu 95°C. Parameter untuk suhu batas atas dan batas bawah ini ditentukan dengan menggunakan nilai histerisis 5 dalam sistem kendali bang-bang. Jadi, dengan set point 90°C akan didapatkan nilai batas bawah 85°C (90-5°C) dan batas atas 95°C (90+5°C). Dari sistem kendali Bang-bang ini, parameter yang diukur ialah besar daya yang digunakan dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai set point, yang dimana nilai set point itu adalah 90°C.

Hasil Pengujian sistem menggunakan kendali bang-Bang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sistem Kendali Bang-bang

No	Range Suhu (°C)	Daya (W)	Waktu yang dibutuhkan (s)
1	32-90	370	653
2	32-90	374	660
3	32-90	369	653
4	32-90	371	655
5	32-90	370	653
6	32-90	373	658
7	32-90	369	652
8	32-90	370	655
9	32-90	372	653
10	32-90	372	654
<b>Daya Rata-Rata</b>			371 W
<b>Waktu Rata-Rata</b>			655 s

Daya yang didapatkan dari tabel 2. merupakan daya yang terbaca pada wattmeter. Nilai daya yang ada pada tabel 12 merupakan nilai rata-rata daya yang terbaca pada wattmeter dalam 1 kali beroperasi. Dengan mengambil Sample nilai daya setiap 30 detik, kemudian menghitung nilai rata-rata daya yang terpakai dari Sample-Sample nilai daya tersebut untuk mendapatkan besarnya daya yang digunakan dalam 1 kali sistem berjalan. Sementara untuk daya rata-rata, didapat dari nilai rata-rata dari 10 percobaan yang dilakukan. Nilai daya rata-rata inilah yang akan digunakan sebagai pembanding dengan sistem kendali Fuzzy. Sementara kolom waktu yang dibutuhkan pada tabel 2 dihitung mulai dari pemanas mencapai suhu awal yaitu 32°C hingga mencapai suhu 90°C.

Dari tabel 2. dapat disimpulkan bahwa sistem kendali Bang-bang memiliki rata-rata daya yang terpakai dalam satu kali beroperasi sebesar 371W. Nilai simpangan baku adalah 2,28. Ini adalah daya yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai suhu 90°C dari suhu 32°C. Waktu rata-rata yang terpakai oleh sistem dalam satu kali beroperasi sebesar 655 detik atau 10 menit 55 detik, dengan nilai simpangan baku 10,5 detik.

### C. Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy

Data-data pengujian didapatkan dari pengukuran daya menggunakan wattmeter pada pemanas air. Pemanas air ini sudah dimasukkan kode program untuk sistem kendali Fuzzy dengan rumus dan aturan-aturan Fuzzy. Sama seperti pada sistem kendali Bang-bang, daya yang digunakan pada tabel 3 juga merupakan rata-rata daya yang terbaca wattmeter. Sample nilai daya diambil setiap 30 detik, kemudian menghitung nilai rata-rata daya yang terpakai dari Sample-Sample nilai daya tersebut untuk mendapatkan besarnya daya yang digunakan dalam 1 kali sistem berjalan.

Dari tabel 2 dapat disimpulkan bahwa sistem kendali Fuzzy memiliki rata-rata daya yang terpakai dalam satu kali beroperasi sebesar 361W. Ini adalah daya yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai suhu 90°C dari suhu 32°C. Waktu rata-rata yang terpakai oleh sistem dalam satu kali beroperasi sebesar 605 detik atau 10 menit 5 detik. Nilai simpangan baku 1,61 untuk daya, sementara untuk waktu adalah 2,41 detik. Hasil Pengujian sistem menggunakan kendali Fuzzy dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sistem Kendali Fuzzy

No	Suhu (°C)	Daya (W)	Waktu yang dibutuhkan (s)
1	32-90	361	599
2	32-90	365	623
3	32-90	357	597
4	32-90	362	620
5	32-90	361	598
6	32-90	364	621
7	32-90	358	597
8	32-90	361	599
9	32-90	360	600
10	32-90	361	600
<b>Daya Rata-Rata</b>			361 W
<b>Waktu Rata-rata</b>			605 S

### D. Hasil Perbandingan Kedua Sistem Kendali

Perbandingan kinerja menggunakan 2 kendali dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Kedua Sistem Kendali

Parameter		Bang-bang	Fuzzy
Daya		371 W	361 W
Waktu		655 s	605 s
Simpangan daya	Baku	2,28	1,61
Simpangan waktu	Baku	10,5	2,41

Berdasarkan tabel 4 didapatkan hasil penggunaan daya untuk sistem kendali Bang-bang sebesar 371 W dan waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem dalam 1 kali beroperasi yaitu 655 s atau 10 menit 55 detik. Sementara untuk sistem kendali Fuzzy, rata-rata daya yang digunakan sebesar 361 W dan membutuhkan waktu 605 s atau 10 menit 5 detik. Kedua sistem kendali ini dijalankan dengan suhu batas bawah 32°C dan suhu batas atas 90°C. Kendali Bang-Bang menghabiskan daya lebih besar karena proses pengendaliannya membuat pemanas mati dan menyala secara terus menerus. Kebutuhan daya untuk menyalakan pemanas akan menyebabkan terjadinya lonjakan daya secara berkala. Pada kendali fuzzy, lonjakan daya setiap saat tidak terjadi karena pengaturan pemanasnya lebih halus dan nilai PWMnya lebih stabil.

## V. KESIMPULAN

Sistem kendali Fuzzy memiliki keunggulan dalam hal penggunaan daya dan kecepatan untuk mencapai suhu set point yang ditentukan. Dengan daya rata-rata sistem kendali Fuzzy 361 W yang dimana lebih kecil dibanding sistem kendali Bang-bang yaitu 371 W. Dan untuk waktu yang dibutuhkan, sistem kendali Fuzzy juga lebih cepat dengan waktu 605 s jika dibandingkan dengan sistem kendali Bang-bang yaitu 655 s. Dari hasil simpangan baku menunjukkan bahwa simpangan baku untuk sistem menggunakan pengendali Fuzzy lebih rendah, yaitu sebesar 1,61 Watt untuk daya, dan 2,41 detik untuk waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai set point. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali Fuzzy lebih bisa menghasilkan sistem yang hemat energi dan stabil, serta respon transient yang lebih cepat. Secara konfigurasi, pengendali ini tidak membutuhkan hardware tambahan sehingga bisa diproduksi dengan biaya yang tidak mahal.

## REFERENCES

- [1] T. Golonek, "Statistical analysis of electric water heating management using fuzzy logic," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 20, pp. 3943–3955, 2025, doi: 10.1007/s42835-025-02301-7..
- [2] Prasetyo, A., & Nugraha, T. "Perbandingan efisiensi daya berbagai merek dispenser menggunakan sistem inverter". *Jurnal Teknologi Elektro Indonesia*, 8(1), 22–31.2020.
- [3] Andrianto, B., & Setiawan, R.. "Analisis konsumsi energi pada dispenser listrik berbasis heater dan compressor" *Jurnal Energi Terapan*, 14(2), 55–63, 2021
- [4] Wijaya, Y., & Hamdani, A.. "Optimasi pemakaian energi pada dispenser air panas-mendidih dengan teknologi inverter." *Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 11(2), 88–97.2023
- [5] F. Prasetyawan and L. Anifah, "Sistem Kontrol Suhu Ketel Elektrik Menggunakan Metode Logika Fuzzy Sugeno Berbasis ESP8266 dengan Komunikasi Internet Of Things (IoT)," *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 5–12, 2021, doi: 10.26740/jieet.v5n1.p5-12.
- [6] A. K. Mohammed and I. A. Hamakhan, "Analysis of energy savings for residential electrical and solar water heating systems," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 27, no. 1 October 2020, p. 101347, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101347.
- [7] F. G. Wardana, "Analisis Perbandingan Performa Sistem Kendali Bang-Bang Dan Sistem Kendali Fuzzy Pada Pemanas Air," 2023.
- [8] F. D. Sholeh, F. Suryatini, N. W. Nugraha, and N. Lilansa, "Water temperature control system with PID control method and fuzzy logic based on SCADA," *Emitor: J. Teknik Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 177–183, Jul. 2025, doi:10.23917/emitor.v25i2.11064.
- [9] Y. Zhang, "Home water heater constant temperature control based on fuzzy PID control," in *Proc. 2nd Int. Conf. Mechanics, Electronics Engineering and Automation (ICMEEA)*, 2025, pp. 364–376..
- [10] F. H. Nagi, Y. Ren, and W. Ma, "Fuzzy Bang-Bang Relay Control of a Rigid Rotor Supported by Active Magnetic Bearings," *Energies*, vol. 15, no. 11, Art. 3975, 2022, doi: 10.3390/en15113975.
- [11] F. Aprizki Saragih and R. K. Rakhmat, "Pengatur temperatur minuman pada dispenser berbasis mikrokontroler dengan logika fuzzy Mamdani," *J. Teknol. Sist. Inform. & Aplikasi*, vol. 7, no. 1, pp. 65-65, 2025, doi:10.32493/jtsi.v7i1.37925..
- [12] F. Prasetyawan and L. Anifah, "Sistem kontrol suhu ketel elektrik menggunakan metode logika fuzzy Sugeno berbasis ESP8266," *JIEET*, vol. 5, no. 1, pp. 76-82, 2025.

- [13] N. Plamonia, M. Rizki Efendi, and A. Andreas, "Perbandingan Efisiensi Energi Solar Water Heater (Swh) Dan Electric Water Heater (Ewh) Dalam Skala Rumah Tangga Menggunakan Life Cycle Cost (Lcc) (Comparison of Solar Water Heater (Swh) and Electric Water Heater (Ewh) Energy Efficiency in Household Scale)," *J. Artesis*, vol. 3, no. 1, pp. 62–68, 2023.
- [14] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.,* vol. 8, no. 2, p. 26, 2020, doi: 10.24036/voteteknika.v8i2.109138.
- [15] I. Sudiharto, F. D. Murdianto, A. Budikarso, and P. Taufika, "High accuracy electric water heater using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)," *Kinetik*, vol. 7, no. 3, pp. 273–288, Aug. 2022, doi:10.22219/kinetik.v7i3.14
- [16] R. F. I. Ezra Fairiz Pratama, Amaliyah, "Rancang Bangun Pemanas Air Kolam Renang Skala Laboratorium Menggunakan Metode Logika Fuzzy Design Of Laboratory Scale Swimming Pool Water Heater Using Fuzzy Logic Method," *eProceedings*, vol. 9, no. 3, pp. 883–889, 2022, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/17958%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/17958/17590>
- [17] M. Mazandarani and Y. Zhao, "Fuzzy Bang-Bang control problem under granular differentiability," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 355, no. 12, pp. 4931–4951, 2018, doi: 10.1016/j.jfranklin.2018.05.022.
- [18] A. Khuriati, "Otomasi Sistem Pengendalian Suhu Pada Insinerator Unggun Tetap Menggunakan Pengendali Dua Posisi," *Berk. Fis.*, vol. 24, no. 3, 2021.
- [19] M. Lee, H. Park, and J. Kim, "Smart fuzzy logic thermostat with embedded bang-bang override for water heater efficiency," *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 6, pp. 5302–5312, 2025.
- [20] A. Singh and D. Mehta, "Temperature stability improvement in domestic electric heaters with fuzzy tuned bang-bang controller," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 72819–72831, 2023.
- [21] A. Majid, "Comparative Analysis of PID and Fuzzy Temperature Control for Infant Warmer using DS18B20 Sensor," *J. Electrical Engineering and Electronic Materials (JEEEMI)*, 2022
- [22] R. S. Patil and S. S. Kulkarni, "Energy management in water heating using fuzzy logic controllers," *J. Energy Eng.*, vol. 149, no. 2, pp. B4014002, 2023.