

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian tahun 2019 oleh Muhtarom dan Sujono Perbandingan sistem kendali PID dan kendali logika *Fuzzy* pada pengendalian suhu sistem pemanas induksi. Penelitian ini dilakukan oleh Muhtarom dan Sujono. Penelitian tersebut 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*. Tujuh puluh dua derajat Celcius dengan penyimpangan standar delapan puluh sembilan derajat celcius adalah titik yang ditetapkan untuk itu. Pada suhu titik set 75 derajat Celcius, data untuk kontroler PID menunjukkan bahwa *delay* adalah 222 detik, *time rise* adalah 376 saat, *time peak* adalah 475 detik, *time settling* adalah 486 detik, *overshoot* adalah 0,67%, dan *error* adalah 2,34 persen. Selain itu, *delay* untuk sistem logika *fuzzy* adalah 248 detik, *time rise* adalah 443 detik, *time peak* adalah 1069 detik, *time settling* adalah 1138 detik, tingkat *overshoot* adalah 0,0073 persen, dan *error* adalah 0,033 persen. Sebagai hasil dari umpan balik yang diterima pada suhu 75 derajat Celcius, sistem PID mampu mencapai keadaan stabil, tetapi sistem logika *fuzzy* mencapai perilaku keadaan stabil pada suhu yang sedikit lebih tinggi dari 75 derajat Celsius. Berdasarkan temuan penelitian yang disebutkan di atas, telah ditentukan bahwa sistem PID memberikan respons yang lebih unggul dari sistem logika *fuzzy* dalam hal kualitas. Ini adalah sesuatu yang dapat dilihat sebagai hasil dari respons terhadap suhu titik set yang diperoleh. Nilai *overshoot*, *error steady state*, *time rise*, dan *time peak* yang secara signifikan lebih rendah dalam sistem PID dibandingkan dengan sistem logika *fuzzy*[1].

Sebuah studi tentang kontrol suhu air menggunakan logika *fuzzy* sebelumnya dilakukan oleh Alfith, Antonov Bachtiar, dan Algizan A.A dengan judul "Desain Kontrol Suhu Air di Kamar Mandi Menggunakan Kontrol Logika

Kabur" pada tahun 2019. Penelitian ini menyoroti pentingnya suhu air dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam konteks pemanas air. Contoh dari aplikasi ini adalah suhu air untuk mandi. Menurut jurnal, kriteria optimal untuk suhu air untuk suhu tubuh manusia adalah sekitar 40°C. Oleh karena itu, diperlukan perangkat yang mampu mengontrol suhu dengan tepat dan memfasilitasi penggunaan pemanas air yang ada tanpa perlu terus-menerus membuka sumur. Kontroler *fuzzy* digunakan dalam perangkat ini untuk meniru logika manusia sesuai dengan konsep *fuzzy* itu sendiri. Suhu titik set terdiri dari beberapa input, termasuk 27, 32, 35, 39, 42, 45, 50, 55 dan 60°C. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengendalian suhu air lebih efisien dengan waktu yang sedikit lebih singkat yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu 1°C, mengambil 45 detik, dan untuk menurunkan suhu dengan 1°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[6].

Pada tahun 2021, Firdaus Prasetyawan dan Lilik Anifah melakukan penelitian tentang Sistem Kontrol Suhu Ketel Elektrik Menggunakan Metode Logika *Fuzzy* Sugeno Berbasis ESP8266 dengan Komunikasi *Internet Of Things* (IoT). Penelitian tersebut 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°C, dengan fluktuasi suhu maksimum 1°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[3].

Penelitian yang dilakukan oleh Azhar K. Mohammed dan Idres A. Hamakan tentang Analisis Penghematan Energi Untuk Sistem Pemanas Air Listrik Dan Tenaga Surya pada tahun 2021. Pada penelitian 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. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dan data eksperimen untuk menunjukkan bahwa sistem pemanas air tenaga surya dapat mengurangi konsumsi daya listrik dan emisi CO₂ secara signifikan dibandingkan dengan sistem pemanas air listrik. Analisis yang dilakukan mencakup penghematan energi tahunan, fraksi surya, konsumsi listrik, dan menyimpulkan bahwa sistem pemanas air tenaga surya dapat mencapai penghematan energi yang signifikan dan mengurangi emisi gas CO₂. 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[4].

Penelitian yang dilakukan oleh Nicco Plamonia, Muhammad Rizki Efendi, dan Azaria Andreas pada tahun 2023 mengenai Perbandingan Efisiensi Energi *Solar Water Heater* (Swh) Dan *Electric Water Heater* (Ewh) Dalam Skala Rumah Tangga 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*[11].

Sebuah studi yang dilakukan pada tahun 2023 oleh Fikri Gusna Wardhana berjudul "Analisis Perbandingan Sistem Kontrol *Bang-bang* dan Sistem Kontrol *Fuzzy* dalam Kinerja Pemanas Air." Dalam penelitian ini, perbandingan kinerja dilakukan dengan membandingkan nilai-nilai *time rise*, *time settling*, dan *mean square error* menggunakan perangkat lunak LabView. Nilai set point yang digunakan dalam penelitian ini adalah 75 °C. Kontroler *Bang-bang* menggunakan 3 nilai histeris, yaitu 5, 3, dan 1. Nilai *time rise* tercepat untuk kontroler *Bang-bang* dicapai pada 1440 detik ketika nilai histerisis adalah 1. Demikian pula, *time settling* adalah 1770 detik dan *mean square error* (MSE) adalah 1,28 ketika menguji pengendali *Bang-bang* dengan nilai histeris 1. Sementara itu, kontroler *Fuzzy* diuji

dua kali dengan nilai *time rise* tercepat 1650 detik, *time settling* 1650 detik, dan MSE 0,7. Berdasarkan temuan penelitian, ditentukan bahwa sistem kontrol *fuzzy* menunjukkan kinerja terbaik untuk sistem kontrol pemanasan air, dengan nilai *time rise* dan *time settling* 1650 detik, dan nilai MSE lebih kecil 0,7. Sebagai perbandingan, sistem kontrol bangbang dengan nilai histeris 1 memiliki *time rise* 1440 detik, *time settling* 1770 detik dan nilai MSE 1,28[5].

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

Tahun	Judul	Penulis	Keterangan
2019	Perbandingan Sistem Kendali PID Dan Kendali Logika <i>Fuzzy</i> Pada Pengendalian Suhu Sistem Pemanas Induksi	Muhtarom dan Sujono	Menggunakan sistem kendali PID dan <i>Fuzzy</i> pada pemanas induksi, hasilnya sistem kendali PID memberikan respon yang lebih baik
2019	Perancangan Pengendali Suhu Air Pada Bak Mandi Menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i>	Antonov Bachtiar, dan Algizan A.A	Menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i> pada pengontrolan bak mandi, hasilnya pengontrolan suhu air menjadi sedikit lebih efisien
2021	Sistem Kontrol Suhu Ketel Elektrik Menggunakan Metode Logika <i>Fuzzy</i> Sugeno Berbasis ESP8266 dengan Komunikasi Internet Of Things (IoT)	Firdaus Prasetyawan dan Lilik Anifah	Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i> dalam kontrol suhu ketel elektrik, hasilnya metode pengontrol <i>Fuzzy</i> bekerja dengan baik dan dapat mengontrol suhu dengan baik

Tabel 2.2 Tinjauan Pustaka Lanjutan

2021	Analisis Penghematan Energi Untuk Sistem Pemanas Air Listrik Dan Tenaga Surya	Azhar K. Mohammed dan Idres A. Hamakhan	Membandingkan konsumsi daya antara pemanas air listrik dan pemanas air tenaga surya, hasilnya pemanas air elektrik mengonsumsi daya yang lebih besar
2023	Perbandingan Efisiensi Energi <i>Solar Water Heater</i> (Swh) Dan <i>Electric Water Heater</i> (Ewh) Dalam Skala Rumah Tangga Menggunakan <i>Life Cycle Cost</i> (Lcc)	Nicco Plamonia, Muhammad Rizki Efendi, dan Azaria Andreas	Membandingkan biaya operasional dan konsumsi daya antara <i>electric Water Heater</i> dan <i>solar Water Heater</i> , hasilnya <i>solar Water Heater</i> memiliki konsumsi daya dan biaya operasional yang lebih sedikit.
2023	Analisis Perbandingan Performa Sistem Kendali <i>Bang-bang</i> Dan Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> Pada Pemanas Air	Fikri Gusna Wardhana	Membandingkan performa sistem kendali <i>Bang-bang</i> dan sistem kendali <i>Fuzzy</i> pada pemanas air, hasilnya sistem kendali <i>Fuzzy</i> memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan sistem kendali <i>Bang-bang</i>

2.2 DASAR TEORI

Penelitian ini menggunakan beberapa dasar teori yang bersumber dari berbagai jurnal dan buku untuk menjadi pedoman dalam melakukan penelitian. Beberapa dasar teori yang relevan dan sesuai dengan konteks penelitian ini, sebagai berikut.

2.2.1 Daya Listrik AC

Daya listrik adalah jumlah energi listrik yang dapat dihantarkan oleh suatu sistem untuk melakukan kerja dalam rangkaian listrik. Daya dalam sistem tenaga listrik merujuk pada jumlah energi yang digunakan untuk melakukan pekerjaan, seperti menghasilkan panas, suara, gerakan mekanik, dan cahaya. Menurut hukum Ohm, listrik adalah produk dari tegangan dan arus dalam sirkuit. Oleh karena itu, listrik dapat didefinisikan sebagai produk tegangan serta arus pada titik tertentu di dalam sistem listrik[12].

Daya listrik bolak-balik (AC) adalah bentuk daya listrik yang paling sering digunakan di seluruh dunia. Daya listrik AC ini memiliki sifat khusus dimana arus listrik berubah arah secara periodik. Arus bolak-balik biasanya dinyatakan dalam bentuk gelombang sinusoidal yang menciptakan variasi siklus positif dan negatif sepanjang waktu. Daya listrik AC biasanya digunakan untuk distribusi jarak jauh melalui transmisi dan distribusi.

Daya listrik AC umumnya dinyatakan dalam bentuk gelombang sinusoidal. Gelombang ini dapat dijelaskan oleh fungsi sinus atau kosinus dan memiliki karakteristik berupa positif dan negatif. Berikut persamaan umumnya.

$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (2.2)$$

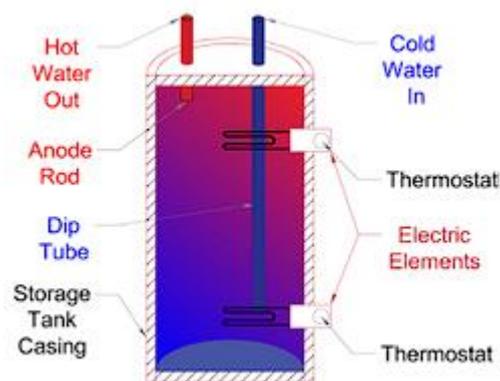
Dimana $V(t)$ adalah tegangan dalam fungsi waktu dan $i(t)$ adalah arus dalam fungsi waktu. V_m dan I_m adalah amplitudo tegangan dan arus, ω adalah frekuensi angular, dan ϕ adalah fase awal.

Daya listrik merupakan faktor yang penting dalam perhitungan biaya energi listrik dan efisiensi suatu sistem listrik. Daya juga memiliki keterkaitan dengan konsep energi listrik yang diukur dalam satuan *kilowatt-jam* (kWh) yang

menunjukkan jumlah energi yang dikonsumsi atau dihasilkan selama suatu periode waktu.

2.2.2 Pemanas Air Elektrik

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[13].



Gambar 2.1 *Electric Storage Tank Water Heater*[13]

Sistem kendali yang digunakan oleh pemanas air yang ada di pasaran saat ini ialah pengendali *Bang-bang* atau *on/off*. Sistem kendali ini akan menyalakan pemanas air bila mencapai suhu *set point* terendah hingga mencapai suhu *set point* tertinggi. Proses ini akan menggunakan banyak daya listrik tergantung dari rentang suhu terendah dan tertingginya. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu

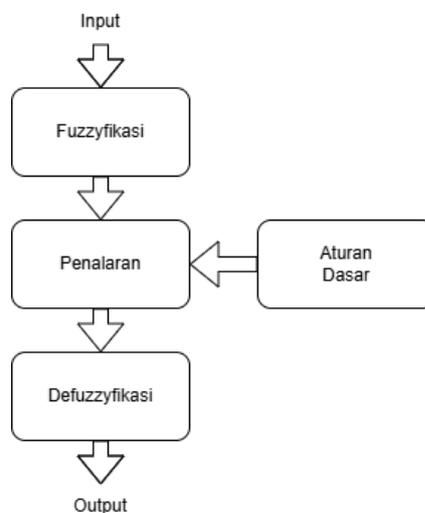
tertinggi juga mempengaruhi penggunaan daya, semakin cepat waktu yang dihabiskan maka akan semakin besar pula daya listrik yang digunakan.

2.2.3 Sistem Kendali *Fuzzy*

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[14]. 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. Misalnya pada permasalahan suhu, jika logika tegas akan mendeteksi suhu dingin, normal, dan panas hanya dengan 1 angka saja maka logika *Fuzzy* dapat mengidentifikasi nilai nilai diantara ketiga parameter tersebut.

Ada beberapa jenis sistem inferensi dalam sistem kontrol kabur, yaitu Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto. Mamdani jenis *Fuzzy* Interference System (FIS) adalah sistem yang paling mudah dimengerti, karena menyesuaikan dengan baik dengan proses pemikiran manusia. FIS beroperasi berdasarkan aturan linguistik dan menggabungkan algoritma yang membingungkan yang memberikan pendekatan untuk analisis matematika.

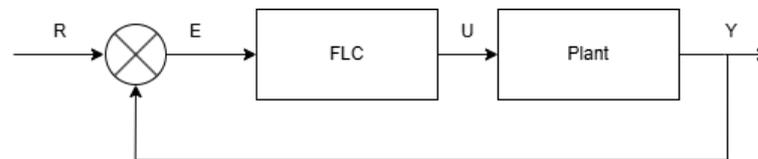
Sistem kendali logika *Fuzzy* terdiri dari beberapa tahapan seperti pada diagram berikut.



Gambar 2.2 Proses Kendali Logika *Fuzzy*[8]

Berdasarkan gambar di atas, input logika *Fuzzy* yang diberikan ialah dalam bentuk angka, dan *output* yang dihasilkan juga harus dalam bentuk angka. Aturan bahasa linguistik dapat digunakan sebagai input yang tepat, yang harus dikonversi terlebih dahulu, lalu melakukan pengambilan keputusan berdasarkan aturan aturan yang dibuat dan mengkonversi hasil pengambilan keputusan tersebut menjadi *output* yang bersifat teliti atau tegas[8].

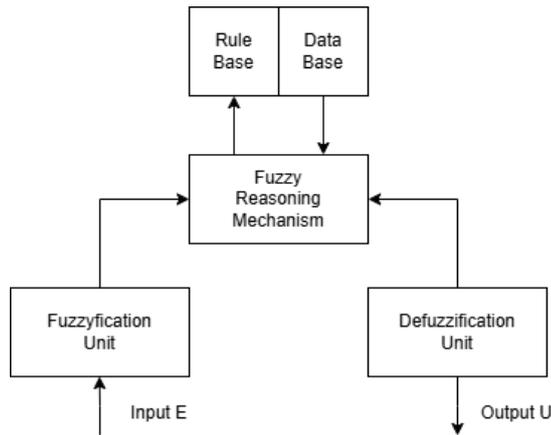
Sistem kendali *Fuzzy* menggunakan serangkaian aturan atau *rule* dan mekanisme pengambilan keputusan untuk menentukan tindakan sistem pada plant atau beban. Istilah "*rule*" mengacu pada ekspresi *Fuzzy* yang menghubungkan logika *Fuzzy* pada input sistem dengan nilai *output* sistem. Mekanisme pengambilan keputusan akan mengevaluasi aturan regulasi dan kemudian menentukan tindakan kontrol yang tepat.



Gambar 2.3 Sistem Kontrol Logika *Fuzzy*[9]

Pengendali logika *Fuzzy* merupakan sistem kontrol *close loop*. Elemen utama dari logika *Fuzzy* ini terdiri dari *fuzzification unit*, *Fuzzy logic reasoning unit*, *knowledge base*, dan *defuzzification unit*. Pengendali logika *Fuzzy* mungkin mempunyai sejumlah aturan tertentu dari kontrol *Fuzzy* atau mungkin mempunyai kemampuan berpikir untuk memodifikasi pengetahuan dasar[14].

Pengetahuan dasar *Fuzzy* ini terdiri dari *data base* dan *rule base*. *Data base* akan membagi fungsi keanggotaan atau membership function dari setiap variabel yang digunakan, dan *rule base* merupakan sejumlah aturan *Fuzzy* yang akan menghubungkan input *Fuzzy* ke angka *output Fuzzy*, aturan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk *IF-THEN*. Variabel sistem dalam *Fuzzy* terdiri dari dua komponen utama, yaitu variabel input (E) yang diukur dari proses yang dikendalikan, dan variabel *output* (U) yang digunakan oleh kontrol *Fuzzy* untuk mengendalikan proses. Di sisi lain, Sedangkan *Fuzzy logic reasoning* akan menggunakan *Fuzzy logic* yang sama dalam proses membuat keputusan, seperti yang dilakukan manusia[9].

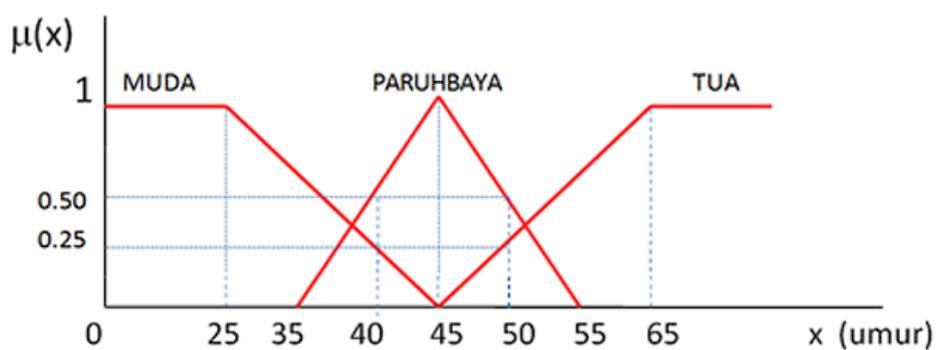


Gambar 2.4 Struktur Dasar dari *Fuzzy Logic Controller*[9]

Dengan karakteristik dari sistem kendali logika *Fuzzy* ini, sistem diharapkan agar menghasilkan *output* yang lebih sesuai dengan yang diinginkan. Dengan memanfaatkan *rule base* dan *data base* pada logika *Fuzzy*, sistem hanya akan bekerja sesuai dengan yang telah ditentukan dan diharapkan dapat mengurangi penggunaan daya yang berlebih pada sistem.

2.2.4 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan, yang sering dikenal sebagai anggota dari elemen dalam set, sering dikaitkan dengan tujuan fungsi. Menurut teori set klasik, fungsi keanggotaan mengacu pada elemen yang termasuk ke alam semesta tertentu, misalnya, $x \in X$, dan memiliki karakteristik yang ditentukan oleh kepemilikan dalam set tersebut.



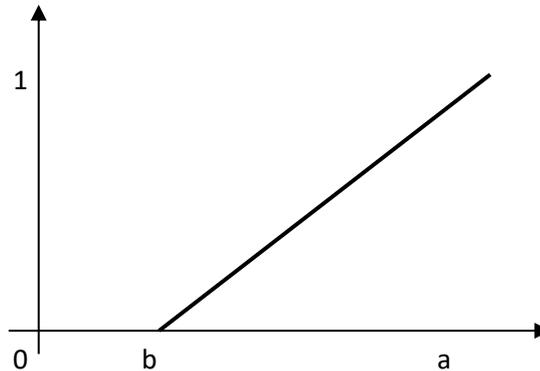
Gambar 2.5 Contoh Fungsi Keanggotaan[9]

Pada konsep himpunan *Fuzzy* nilai keanggotaan sebuah elemen tidak bersifat mutlak. Sebuah elemen terkadang bisa memiliki 0,5 atau 0,7 nilai keanggotaan dari suatu himpunan. Secara numerik dapat dinyatakan bahwa

himpunan *Fuzzy* memiliki sebuah kemungkinan untuk mempunyai nilai keanggotaan antara 0 sampai 1[9].

Terdapat beberapa representasi fungsi keanggotaan dalam *Fuzzy*, seperti trapesium, segitiga, dan sigmoid. Representasi tersebut akan memudahkan dalam menentukan fungsi keanggotaan dalam *Fuzzy Logic Controller*.

a. Fungsi Keanggotaan Linear

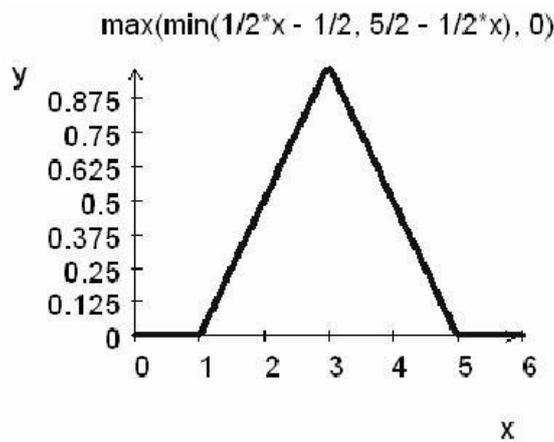


Gambar 2.6 Representasi Fungsi Keanggotaan Linear[15]

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.3)$$

b. Fungsi Keanggotaan Segitiga

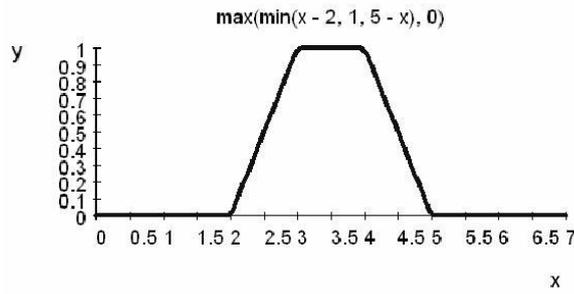


Gambar 2.7 Representasi Fungsi Keanggotaan Segitiga[15]

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & x \leq c \end{cases} \quad (2.4)$$

c. Fungsi Keanggotaan Trapezium

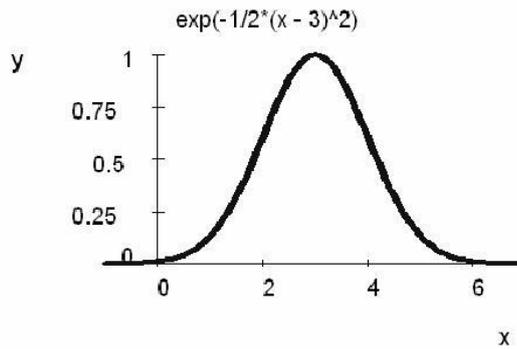


Gambar 2.8 Representasi Fungsi Keanggotaan Trapezium[15]

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.5)$$

d. Fungsi Keanggotaan Gauss

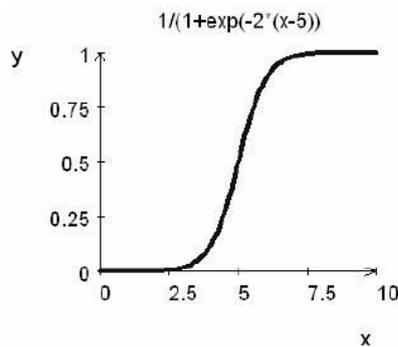


Gambar 2.9 Representasi Fungsi Keanggotaan Gauss[15]

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = e^{-\frac{(x-c)^2}{2s^2}} \quad (2.6)$$

e. Fungsi Keanggotaan Sigmoid



Gambar 2.10 Representasi Fungsi Keanggotaan Sigmoid[15]

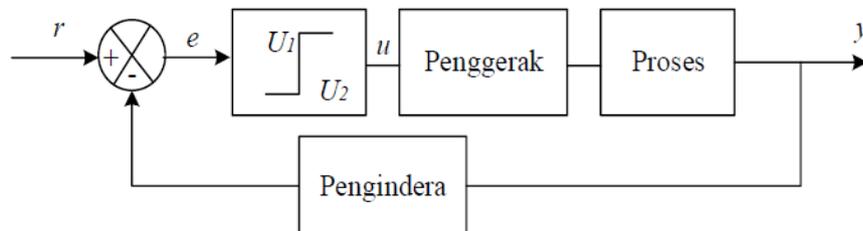
Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \frac{1}{e^{-a(x-c)+1}} \quad (2.7)$$

2.2.5 Sistem Kendali *Bang-bang*

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. Sistem kontrol *loop* tertutup akan membandingkan *output* sistem dengan respon *output* yang diinginkan. Sinyal *output* disebut sebagai sinyal umpan balik dari sistem kontrol. Sistem kontrol lingkaran tertutup adalah sistem kontrol yang cenderung mempertahankan hubungan antara satu variabel dari sistem ke variabel lain dengan membandingkan fungsi variabel dan menggunakan perbedaan mereka sebagai alat kontrol.

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

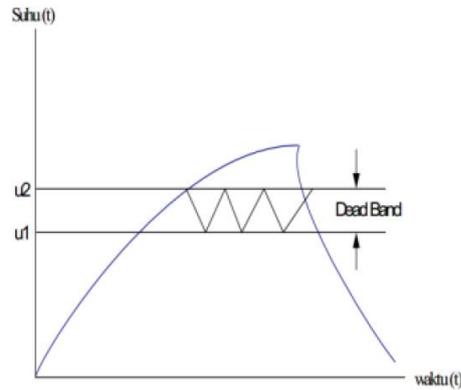


Gambar 2.11 Diagram Blok Pengendali *Bang-bang*[16]

Dengan U_1 dan U_2 menjadi konstan. Nilai minimum U_2 biasanya nol atau $-U_1$. Banyak penggunaan katup solenoid listrik sebagai penggerak untuk jenis pengendali ini. $r(t)$ mewakili titik yang ditetapkan atau nilai suhu yang diinginkan, sedangkan $y(t)$ adalah suhu *output* yang sebenarnya.

Salah satu perangkat yang menggunakan sistem kontrol *Bang-bang* adalah termostat rumah konvensional. Ketika suhu di dalam termostat turun di bawah titik terendah yang ditetapkan, termostat akan secara otomatis mengaktifkan pemanasnya untuk menaikkan suhu di luar termostat sampai mencapai titik

tertinggi yang telah ditentukan. Tergantung pada titik pengaturan yang ditentukan, sistem dapat menghasilkan berbagai suhu yang dapat diterima dan mengakibatkan penundaan yang signifikan dalam respons sistem. Karena ini, sistem kontrol *Bang-bang* sering disebut sebagai kontrol histeris, dengan histeris menggambarkan keterlambatan dalam menanggapi perubahan.



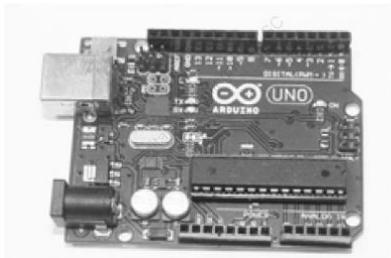
Gambar 2.12 Kurva Sistem Kendali Histerisis[7]

Sistem kontrol histeris adalah sistem kontrol *on-off* yang memiliki dead band dalam rentang nilai referensi yang ditentukan (*set point*). Sebagai contoh, ketika suatu nilai *set point* ditetapkan pada suhu tertentu, kemudian dilakukan kendali *on-off* yang akan menyebabkan nilai set titik berada di antara nilai U_1 (batas bawah) dan U_2 (batas atas). Suhu akan berada di dalam band mati karena ketika suhu melebihi titik yang ditetapkan dan melampaui nilai U_2 , sistem akan mematikan pemanas. Kondisi ini akan menyebabkan suhu berubah sampai mencapai nilai U_1 . Selain itu, ketika suhu turun di bawah U_1 , sistem akan mengaktifkan pemanas[7].

Sistem kontrol *Bang-bang* mungkin cukup untuk mengatur suhu di rumah, tetapi tidak cukup untuk proses kompleks seperti proses kimia sensitif. Masalah seperti kurangnya presisi dan sering terjadi siklus elemen kontrol akhir dapat menyebabkan kegagalan prematur karena kelelahan mekanis. Pada kejadian penukar panas, siklus termal yang berulang antara panas dan dingin akan menyebabkan kelelahan pada logam pada tabung, yang pada akhirnya mengurangi massa pakainya. Selanjutnya, setiap perjalanan variabel proses di atas titik yang ditetapkan adalah limbah energi, karena cairan proses dipanaskan ke suhu yang lebih tinggi dari yang diperlukan[17].

2.2.6 Arduino UNO

Arduino merupakan board mikrokontroler berbasis Atmega328. Arduino sangat sering ditemui di pasaran karena bersifat *open source* dan juga memiliki bahasa pemrogramannya sendiri yaitu bahasa C[18]. Oleh karena itu, arduino cukup mudah digunakan oleh siapa saja. Arduino juga sudah dilengkapi port USB yang berfungsi sebagai port komunikasi serial sehingga tidak membutuhkan *loader* eksternal[19].



Gambar 2.13 Arduino UNO[20]

Arduino dilengkapi dengan mikrokontroler Atmel yang berfungsi sebagai kontroler pusat untuk perangkat keras, serta sejumlah pin yang dapat digunakan untuk input dan *output*[21]. Suplai daya yang digunakan oleh papan ini diperoleh dari PC melalui kabel USB. Kabel USB ini juga berfungsi sebagai media untuk komunikasi antara Arduino dan PC[20].

2.2.7 Water Heater 220V

Water Heater 220 volt merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi listrik menjadi kalor. Alat ini terbuat dari bahan *stainless steel* dengan belitan kawat didalamnya yang akan menghasilkan panas apabila diberi tegangan listrik dengan jumlah tertentu[22].



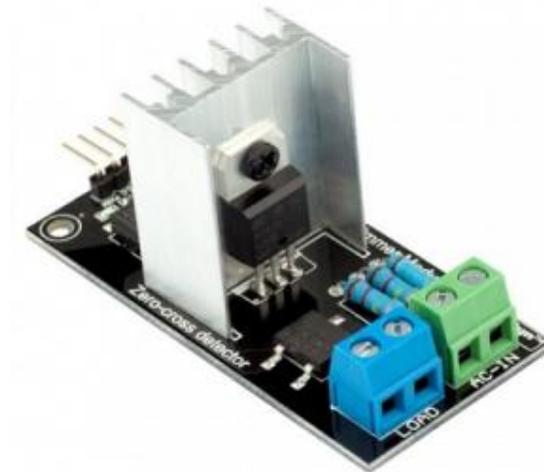
Gambar 2.14 Water Heater 220 Volt[19]

Water Heater 220v ini beroperasi pada tegangan 220 volt umumnya digunakan untuk aplikasi rumah tangga. Sesuai dengan namanya, pemanas ini digunakan dengan menghubungkan ke colokan listrik rumah yang memiliki tegangan 220 VAC[19].

2.2.8 Dimmer AC

Dimmer AC merupakan sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur daya listrik pada perangkat-perangkat yang menggunakan arus bolak-balik (AC)[23]. Dimmer AC bekerja dengan cara memanipulasi sinyal listrik AC untuk mengurangi atau meningkatkan intensitas cahaya atau daya perangkat yang terhubung. Hal ini dilakukan dengan memotong bagian-bagian siklus gelombang sinusoidal pada sinyal AC[24].

Dimmer AC adalah dimmer yang bekerja dengan menggunakan listrik AC dan biasa digunakan untuk lampu, AC, kipas angin, dan perangkat lainnya yang menggunakan listrik AC[25].



Gambar 2.15 Dimmer AC[25]

Spesifikasi dari Dimmer AC sebagai berikut.

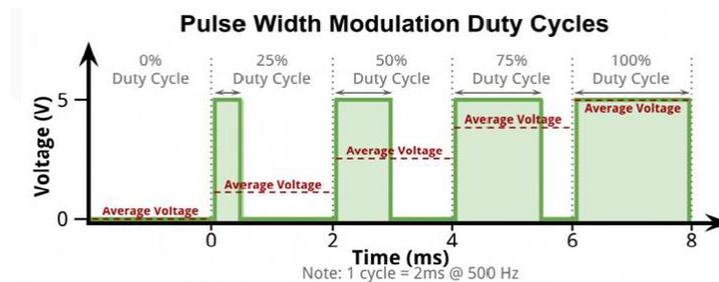
- a. Tegangan 220 VAC
- b. Arus 2A (normal) - 5A (*peak*)
- c. Regulator *Voltase* AC 90-220V

Cara kerja Dimmer AC adalah dengan mengontrol mikrokontroler yang berarti bagaimana komunikasi atau bentuk transmisi dan pengelolaan data ditangani. Modul Dimmer AC dapat dikontrol oleh mikrokontroler dengan

mengirimkan sinyal *Pulse width modulation* (PWM)[23]. PWM merupakan teknologi yang mengatur pengoperasian perangkat yang memerlukan arus startup besar dan mencegah perangkat yang dikendalikan mengeluarkan daya berlebih. Modul Dimmer AC ini biasanya diproduksi untuk mengontrol kekuatan tegangan sumber daya AC menggunakan *triac* yang dapat mengalirkan arus hingga 600V/16A[25].

2.2.9 *Pulse Width Modulation* (PWM)

Pulse width modulation (PWM) adalah metode untuk memanipulasi *output* digital menjadi *output* analog. Produksi mikrokontroler seringkali tetap dalam bentuk sinyal digital, baik tinggi atau rendah. Sinyal tinggi memiliki nilai 5V, sedangkan sinyal rendah memiliki nilai 0V. Durasi waktu untuk sinyal tinggi disebut *pulse width* atau *pulse length*. Dalam PWM, ada istilah yang dikenal sebagai siklus tugas, yang mewakili persentase lebar pulsa. 0% sama dengan 0V dan 100% sama dengan 5V, yang berarti bahwa itu akan menyala selama satu periode waktu. Parameter untuk PWM sendiri berada dalam kisaran 0 hingga 255. Nilai PWM 0 sesuai dengan siklus kewajiban 0%, sedangkan nilai 255 mewakili 100% [10].

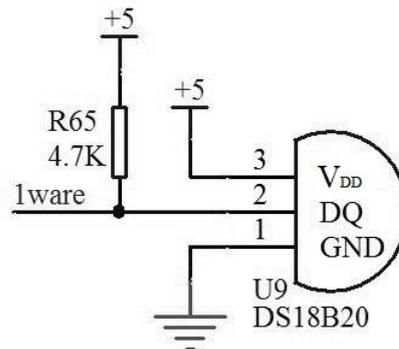


Gambar 2.16 *Pulse width modulation*[10]

Pulse width modulation umumnya digunakan untuk mengontrol pengiriman daya ke perangkat listrik saat ini karena praktisnya dalam menggunakan *switch* listrik elektronik. PWM dapat digunakan untuk mengatur suhu pemanas dengan mengontrol persentase lebar pulsa terhadap periode sinyal segiempat yang diberikan ke pengemudi pemanas. Dengan menggunakan *pulse width modulation* (PWM), pengendalian suhu pemanas dapat dilakukan dengan mudah sesuai dengan preferensi pengguna[19].

2.2.10 Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 adalah salah satu sensor suhu yang dapat digunakan untuk mengukur suhu air dan tahan air. Hasil dari sensor ini adalah dalam bentuk data digital. Sensor DS18B20 bekerja menggunakan kisaran tegangan 3-5V. Tingkat akurasi kesalahan adalah sekitar $\pm 0,5^\circ\text{C}$, dengan kisaran suhu -55°C hingga 125°C . Sensor DS18B20 terdiri dari 3 pin, termasuk VCC, GND, dan data pin[26].



Gambar 2.17 Skematik Diagram Sensor DS18B20[26]

Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor yang sering digunakan dalam proyek arduino dan mikrokontroler lainnya. Sensor suhu digital ini bekerja berdasarkan prinsip suhu resistansi.



Gambar 2.18 Sensor DS18B20[26]

Sensor ini mampu berkomunikasi menggunakan antarmuka satu kawat (*One-Wire*). Ini memungkinkan penggunaan beberapa sensor DS18B20 pada satu jalur komunikasi. Sensor ini juga memiliki tingkat presisi yang tinggi dengan resolusi hingga 12 bit, yang memberikan tingkat akurasi yang baik dalam pengukuran suhu. Sensor DS18B20 memberikan hasil pengukuran suhu dengan waktu respons yang cepat, sehingga sesuai untuk aplikasi pemantauan suhu *real-time*.

2.2.11 Akurasi

Akurasi merupakan suatu ukuran yang menentukan seberapa mirip suatu hasil pengukuran dengan nilai pengukuran sebenarnya. Biasanya hasil pengukuran yang dibandingkan ialah pengukuran sebuah sensor dengan suatu alat yang sudah paten. Dalam bidang pengukuran, presisi secara khusus berkaitan dengan ketidakpastian pengukuran suatu alat ukur. Akurasi dapat menentukan seberapa besar kesalahan pengukuran yang terjadi pada suatu alat ukur. Akurasi biasanya dinyatakan dalam persentase skala penuh, berdasarkan jenis peralatan pengukuran yang digunakan. Keakuratan pengukuran suatu alat uku ditentukan oleh pemilihan skala pengukuran[27].

$$Akurasi = 100\% - error \quad (2.8)$$

$$Error = \left| \frac{Nilai\ Sebenarnya - Nilai\ Terbaca}{Nilai\ Sebenarnya} \right| \times 100\% \quad (2.9)$$