

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, pengukuran suhu tubuh telah menjadi salah satu langkah penting dalam penyaringan kesehatan, terutama dalam menghadapi wabah penyakit menular pandemi Covid-19 di Indonesia (WHO, 2020). Namun, tidak hanya COVID-19 yang menjadi perhatian. Penyakit menular lainnya, seperti influenza, tuberkulosis, cacar air, dan lainnya juga dapat menyebar dengan cepat melalui udara. Penyakit yang menular melalui udara cenderung mudah ditemukan di lokasi-lokasi dengan banyak kerumunan, seperti sekolah, restoran, dan pasar yang padat. Oleh karena itu, menjaga jarak fisik menjadi salah satu hal yang sangat penting untuk mencegah penularan berbagai penyakit ini (Alodokter, 2024).

Pola kehidupan baru yang dikenal sebagai *new normal*, menekankan pentingnya penerapan kesehatan guna menciptakan aktifitas yang aman dari penyebaran COVID-19 (Arienta, 2022). Salah satu langkah untuk deteksi dini penyebaran penyakit adalah pemeriksaan suhu tubuh awal atau *skinning*. Suhu tubuh yang tidak berada dalam rentang normal, baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dapat menjadi indikasi adanya masalah kesehatan atau penyakit. Kenaikan suhu tubuh yang melebihi batas normal biasanya dihubungkan dengan demam, yang merupakan reaksi tubuh terhadap infeksi atau peradangan. Demam dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk infeksi virus atau bakteri, dan penyakit lainnya. Rentang suhu tubuh normal berkisar antara 36,5°C hingga 37,5°C, jika melebihi derajat suhu normal seseorang dapat dikatakan demam, sedangkan suhu tubuh yang terlalu rendah dapat menandakan adanya hipotermia yang terjadi ketika suhu tubuh di bawah batas normal (Damar et al., 2023). Deteksi kondisi tubuh berdasarkan suhu sangat penting untuk diagnosis dan pemantauan kesehatan, yang dimulai dengan pengumpulan data suhu tubuh manusia melalui pengukuran menggunakan termometer atau sensor suhu yang sesuai, sehingga kebutuhan akan termometer *non-contact* menjadi sangat penting.

Alat termometer *non-contact* yang memanfaatkan radiasi inframerah memiliki sensitivitas rendah dibandingkan dengan termometer kontak secara langsung dalam mendeteksi demam. Selain itu, kinerjanya sangat dipengaruhi oleh pengguna karena jarak antara termometer dan kulit bisa memengaruhi tingkat akurasinya (Aw, 2020). Pengukuran suhu dengan termometer inframerah non-kontak dilakukan dengan mengarahkan termometer ke dahi pada jarak 3–5cm. Pada pengukuran dengan jarak 20 cm terjadi simpangan yang signifikan, hal ini menunjukkan bahwa jarak pengukuran sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran suhu tubuh manusia (Prasojo et al., 2020). Termometer inframerah juga bisa memberikan hasil yang kurang akurat karena dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu *ambient*, kelembapan, dan interferensi dari objek sekitarnya. Oleh karena itu, penting untuk mengulangi pengukuran suhu tubuh setelah suhu tubuh sudah menyesuaikan dengan suhu ruangan (Hsiao et al., 2020). Penggunaan berbagai jenis termometer dilakukan untuk memahami pengaruh masing-masing tipe terhadap hasil pengukuran. Pengujian pada jarak yang berbeda dilakukan guna menemukan jarak optimal antara sensor termometer inframerah dan permukaan (pusat dahi), sehingga hasil pengukuran dapat lebih akurat (Paramudita et al., 2021).

Hasil penelitian Eko Ramadhon et al (2023) dengan judul “*Implementasi Fuzzy Logic Tsukamoto pada Deteksi Kondisi Badan Berdasarkan Suhu Tubuh*” dengan menggunakan sensor MLX90614 memiliki selisih hingga 1,29°C dengan alat thermo gun. Pada deteksi kondisi badan menggunakan metode Fuzzy Logic Tsukamoto memiliki tingkat akurasi hingga 86,7%, hasil penelitian Yanuar Mukhammad dan Agoes Santika (2020) “*Sensitivitas Sensor MLX90614 sebagai Alat Pengukur Suhu Tubuh Non-Contact pada Manusia*” dengan hasil dari penelitian yaitu kesalahan pengukuran tertinggi oleh sensor MLX90614 yaitu sebesar 2,8%. Sensor tersebut dibandingkan dengan *thermocouple*, dan hasil penelitian Henry Trenggana et al (2022) dengan judul “*Pengaruh Jarak Ukur dan Jenis Termometer Inframerah pada Hasil Pengukuran Suhu Tubuh sebagai Skrining Awal Covid-19*” menunjukkan bahwa jarak pengukuran sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran suhu tubuh manusia. Pengukuran suhu tubuh harus dilakukan dengan jarak sesuai spesifikasi masing-masing termometer.

Pengukuran suhu tubuh dengan jarak lebih jauh dari spesifikasi akan menghasilkan pembacaan yang kurang akurat.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih adaptif untuk meningkatkan akurasi pengukuran pada jarak yang lebih jauh. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penggunaan metode logika *fuzzy*. Dengan mempertimbangkan pentingnya pengaruh kondisi lingkungan dalam pengukuran suhu tubuh dan dalam meningkatkan akurasi pada jarak deteksi yang lebih jauh, penulis mengangkat penelitian terkait “**Penerapan *Fuzzy Logic* pada Pengukuran Suhu Tubuh Non-Kontak menggunakan Sensor MLX90614**” dengan tujuan untuk mengembangkan model berbasis logika fuzzy Sugeno yang dapat menghasilkan pengukuran suhu tubuh yang lebih akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menerapkan *fuzzy logic* pada pengukuran suhu tubuh non-kontak menggunakan sensor MLX90614?
2. Bagaimana tingkat keberhasilan metode *fuzzy logic* Sugeno dalam mempertahankan akurasi deteksi sensor suhu tubuh pada jarak 0-20cm?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menerapkan *fuzzy logic* pada pengukuran suhu tubuh non-kontak menggunakan sensor MLX90614
2. Menilai tingkat keberhasilan metode *fuzzy logic* Sugeno dalam mempertahankan akurasi deteksi sensor suhu tubuh pada jarak 0-21cm.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan pendekatan untuk meningkatkan akurasi pengukuran sensor suhu tubuh pada jarak non-efektif dengan memanfaatkan algoritma *fuzzy logic* Sugeno.

2. Mengembangkan model pengukuran suhu yang adaptif terhadap variasi jarak deteksi dan kondisi lingkungan.

1.5 Ruang Penelitian

Ruang lingkup yang ditentukan dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan Bahasa pemrograman Python dalam menganalisis data.
2. Data yang telah dikumpulkan akan diolah dengan algoritma Fuzzy Logic Sugeno.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan teori-teori yang menunjang penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi waktu penelitian, tahapan penelitian, analisis kebutuhan sistem, pemodelan sistem, perancangan interface dan pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi hasil penelitian dan saran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Suhu Tubuh

Suhu tubuh merupakan indikator kemampuan tubuh dalam memproduksi dan mengeluarkan panas. Berbagai faktor, termasuk suhu lingkungan, dapat mempengaruhi suhu tubuh. Tingkat suhu tubuh seseorang juga dapat mencerminkan kondisi kesehatan mereka. Suhu tubuh normal seseorang dapat bervariasi tergantung pada aktivitas yang dilakukan dan kondisi fisiknya. Namun, secara umum, suhu tubuh normal berkisar antara 36,5 hingga 37,5°C.



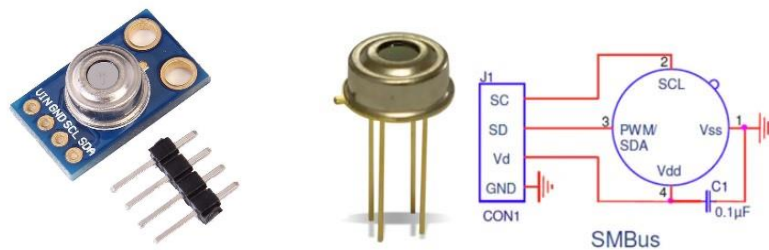
Gambar 1 Suhu Tubuh

Sumber: <https://blog.tanyadna.id/protokol-mengukur-suhu-tubuh/>

Suhu tubuh yang terlalu rendah dikenal sebagai hipotermia, Hipotermia terjadi ketika suhu tubuh turun di bawah 35°C, yang dapat mengganggu fungsi organ vital seperti otak dan jantung akibat paparan suhu dingin. Sebaliknya, hipertermia terjadi jika suhu tubuh melebihi 40°C, dan pada suhu di atas 41,1°C disebut hiperpireksia. Berbeda dari demam yang terkontrol oleh sistem pengaturan suhu tubuh, hipertermia adalah peningkatan suhu di luar kendali tubuh, biasanya disebabkan oleh sengatan panas. Demam sendiri terjadi ketika suhu tubuh melebihi 38°C, seringkali akibat infeksi bakteri atau virus, sedangkan hipertermia dapat menyebabkan kerusakan organ permanen akibat dehidrasi dan ketidakmampuan tubuh untuk mendinginkan diri secara efektif. (Alodokter, 2023).

2.2 Sensor IR MLX90614

Sensor IR MLX90614 merupakan sensor suhu tanpa kontak yang berfungsi dengan mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek. Sensor ini memiliki kemampuan untuk menangkap gelombang elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang antara 700 nm hingga 14.000 nm. Dengan spesifikasi ini, sensor MLX90614 dapat digunakan untuk mengukur suhu tubuh manusia secara akurat. Tidak hanya itu, sensor ini juga mampu mengukur suhu objek dalam rentang yang sangat luas, yaitu dari -70 °C hingga 380 °C. Penggunaannya dalam pengukuran suhu tanpa kontak sangat ideal untuk situasi yang memerlukan pengukuran yang cepat, akurat, dan aman, seperti dalam pemeriksaan suhu tubuh untuk deteksi awal kondisi kesehatan atau pemantauan suhu di lingkungan industri yang keras (Khairil & Umi Kalsum, 2021). Dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Sensor IR MLX90614 Tampilan Fisik dan Rangkaian Elektronik

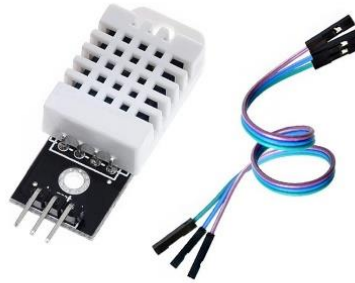
Tabel 1 *Pin out* Sensor IR MLX90614

Nama Pin	Fungsi
VIN	Sumber tegangan eksternal
GND	Ground
SCL	<i>Input clock serial</i>
SDA	<i>Digital input/output</i>

2.3 Sensor DHT22

Jenis sensor yang mampu melakukan pengukuran suhu dan kelembapan secara bersamaan salah satunya adalah DHT22. Sensor ini menjadi pilihan yang populer karena mampu menghasilkan data keluaran dalam bentuk digital, sehingga tidak memerlukan lagi konversi dari sinyal analog dan memudahkan integrasi dengan berbagai sistem elektronik. DHT22 dirancang untuk mengukur suhu dan

kelembapan relatif secara akurat dan memberikan hasil pengukuran dalam bentuk sinyal digital yang mudah diolah. Selain itu, sensor ini juga mampu mengukur suhu dalam rentang -40°C hingga 80°C dan kelembapan dari 0% hingga 100% RH, menjadikannya pilihan yang andal untuk pengukuran suhu dan kelembapan dengan presisi tinggi (Saptadi, 2015).



Gambar 3 Sensor DHT22

Tabel 2 *Pin out* Sensor DHT22

Nama Pin	Fungsi
VIN	Sumber tegangan eksternal
OUT	Pin keluaran data dari sensor
GND	<i>Ground</i>

2.3 Sensor HY-SRF05 *Ultrasonic*

Sensor HY-SRF05 merupakan salah satu jenis sensor *ultrasonic*. Sensor HY- ini dapat mengukur jarak dengan memanfaatkan gelombang *ultrasonic* untuk mendeteksi objek di sekitarnya. sensor HY-SRF05 juga merupakan alat yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi yang memerlukan pengukuran jarak secara *non-contact*. Sensor ini mampu mengukur jarak dalam rentang 3 cm hingga 300 cm, dengan output panjang pulsa yang sesuai dengan jarak objek. Sensor *ultrasonic* digunakan untuk mengukur jarak dalam pengukuran suhu tubuh manusia dengan dua komponen utama, yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Pemancar mengeluarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sekitar 40 kHz hingga 400 k. Sensor ini dapat mengukur jarak antara 2cm hingga 4meter dengan

tegangan 5V, dan dapat mengeluarkan pulsa antara 100 μ s hingga 18 ms pada outputnya, tergantung pada jarak objek yang dipantulkan (Boimau et al., 2019).



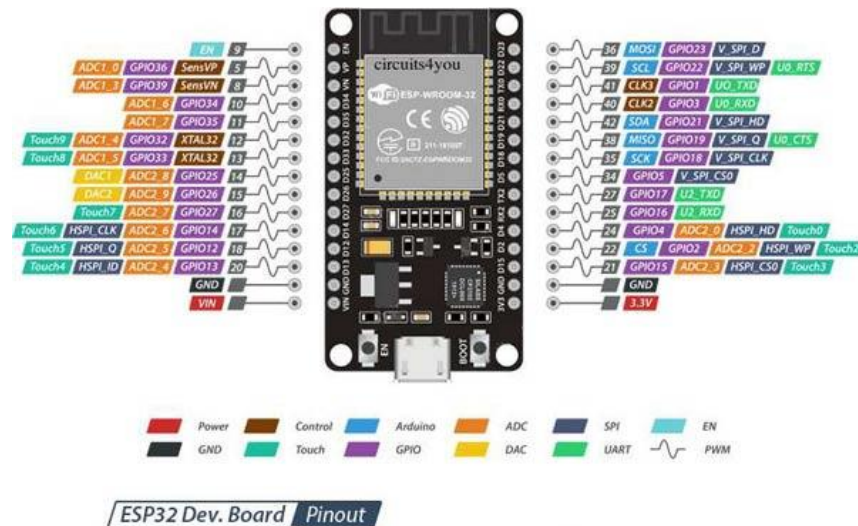
Gambar 4 Sensor HY-SRF05 Ultrasonic

Tabel 3 Pin out Sensor HY-SRF05 *Ultrasonic*

Nama Pin	Fungsi
VCC	Sumber tegangan eksternal
TRIG	Mengirimkan sinyal
ECHO	Pin keluaran
GND	<i>Ground</i>

2.4 ESP32

ESP32 DevKit adalah mikrokontroler yang dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya untuk membaca data dari sensor suhu tubuh (MLX90614), kelembapan (DHT22), dan jarak (ultrasonik) secara simultan. Mikrokontroler ini memiliki 36 pin, terdiri dari 18 pin Analog-to-Digital Converter (ADC) dan 2 pin Digital-to-Analog Converter (DAC). ESP32 dilengkapi dengan modul WiFi yang mempermudah pengguna untuk mengendalikan mikrokontroler dari jarak jauh melalui jaringan internet, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Mikrokontroler ini juga telah dilengkapi dengan port USB, yang memungkinkan koneksi langsung ke komputer tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti adaptor serial. Fitur ini tidak hanya menyederhanakan proses pengembangan dan pemrograman, tetapi juga meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan penggunaan, menjadikan ESP32 pilihan yang sangat populer di kalangan pengembang dan peneliti (Khairil & Umi Kalsum, 2021).



Gambar 5 ESP32 DevKit V1

Sumber: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout>

2.5 PCB

Printed Circuit Board (PCB) merupakan suatu desain yang bertujuan untuk menyambungkan beragam jenis atau tipe komponen elektronik secara bersamaan tanpa memerlukan penggunaan kabel. Bahan utama pembuatan PCB umumnya termasuk ebonite dan fiberglass, serta dapat memiliki lapisan tembaga pada salah satu atau kedua sisi. Apabila hanya satu sisi yang dilapisi tembaga, maka PCB tersebut dinamakan Single-layer. Sebaliknya, jika kedua sisi dilapisi tembaga, maka PCB tersebut dikategorikan sebagai Multilayer.

2.6 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy*, atau yang sering disebut sebagai logika samar, merupakan suatu metode yang digunakan untuk memetakan ruang input ke dalam ruang output dengan nilai-nilai yang dapat bervariasi. Sistem logika *fuzzy* memiliki kemampuan unik untuk mengatasi ketidakpastian dalam proses pengolahan data, yang seringkali tidak dapat diwakili dengan tepat oleh logika tradisional. Konsep logika *fuzzy* didefinisikan sebagai jenis logika yang mengizinkan adanya nilai ganda dan mengakomodasi kebenaran parsial serta ketidakpastian dalam penentuan nilai logis. Seperti yang telah dibahas dalam logika proposisi dan logika orde pertama

sebelumnya, prinsip dasar dari setiap logika adalah proposisi, atau pernyataan yang menggambarkan suatu keadaan atau fakta yang mungkin benar atau salah. Dengan menggunakan konsep-konsep ini, logika *fuzzy* memungkinkan representasi dan pengambilan data yang lebih fleksibel dalam sistem yang kompleks atau tidak sepenuhnya dapat diukur dengan tepat (Sitohang & Denson Napitupulu, 2017). Tiga metode *fuzzy* yang dapat digunakan adalah metode Tsukamoto, metode Mamdani, dan metode Sugeno.

2.6.1 Metode Mamdani

Metode Mamdani dalam sistem inferensi *fuzzy* juga dikenal sebagai metode Max-Min. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim H. Mamdani pada tahun 1975. Metode Mamdani merupakan pendekatan pengambilan keputusan berbasis *fuzzy* yang menggunakan aturan linguistik berbentuk IF-THEN untuk mengubah input yang tidak pasti menjadi output *fuzzy*. Tahapan dalam metode Fuzzy Mamdani meliputi:

1. Fuzzifikasi: Tahap ini mengubah input numerik menjadi *fuzzy*. Variabel *fuzzy* didefinisikan sebagai himpunan *fuzzy*. Setiap himpunan *fuzzy* terdiri dari kurva keanggotaan yang merepresentasikan tingkat keanggotaan input terhadap himpunan tersebut.
2. Inferensi: Pada tahap ini melibatkan aturan-aturan *fuzzy* untuk menghasilkan output *fuzzy*. Aturan terdiri dari premis yang menggambarkan kondisi variabel input dan konklusi yang menentukan variabel output.
3. Kombinasi: Tahap ini menggabungkan variabel output *fuzzy* dari setiap aturan menjadi satu variabel output *fuzzy*. Kombinasi dapat dilakukan dengan menggunakan operator *fuzzy* seperti max, min, atau mean.
4. Defuzzifikasi: Tahap akhir mengubah variabel output *fuzzy* menjadi nilai numerik dengan menentukan nilai pusat dari kurva keanggotaan variabel output *fuzzy* yang dihasilkan.

2.6.2 Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto merupakan salah satu model logika *fuzzy* yang paling sederhana. Metode ini ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1978. Dalam metode ini, nilai input dipetakan ke dalam himpunan *fuzzy*

yang kemudian dioperasikan dengan aturan-aturan *fuzzy*. Dimana, output dihasilkan dari hasil agregasi dari seluruh himpunan *fuzzy* yang digunakan.

Tingkatan proses metode ini meliputi:

1. Fuzzifikasi: Pada tahap ini, variabel input numerik dikonversi menjadi variabel *fuzzy*, yang didefinisikan sebagai himpunan *fuzzy*. Setiap himpunan *fuzzy* memiliki kurva keanggotaan yang menunjukkan derajat keanggotaan dari variabel input terhadap himpunan tersebut.
2. Inferensi: Tahap ini melibatkan penerapan aturan-aturan *fuzzy* untuk menghasilkan variabel output yang juga dalam bentuk *fuzzy*. Setiap aturan *fuzzy* terdiri dari premis dan konklusi, di mana premis merupakan kondisi variabel input dan konklusi adalah hasil atau variabel output.
3. Kombinasi: Tahap ini menggabungkan variabel output *fuzzy* dari setiap aturan menjadi satu variabel output *fuzzy* keseluruhan. Proses kombinasi dapat dilakukan menggunakan operator *fuzzy* seperti maksimum (*max*), minimum (*min*), atau rata-rata (*mean*).
4. Defuzzifikasi: Pada tahap ini, variabel output *fuzzy* diubah kembali menjadi nilai output dalam bentuk numerik. Nilai numerik ini diperoleh dengan menentukan titik pusat dari kurva keanggotaan variabel output *fuzzy* yang (Burhanuddin, 2023).

2.6.3 Metode Sugeno

Metode Sugeno merupakan salah satu pendekatan yang digunakan dalam sistem Inferensi *Fuzzy* (FIS) untuk pengambilan keputusan. Metode ini diperkenalkan oleh Profesor Michio Sugeno pada tahun 1974. Output yang dihasilkan pada metode Sugeno adalah konstanta atau persamaan linier. Metode ini melibatkan beberapa tahapan penting dalam proses inferensi *fuzzy*. Berikut adalah tahapan-tahapan yang terlibat:

1. Fuzzifikasi (Pembentukan Himpunan *Fuzzy*)

Tahap pertama dalam metode Sugeno adalah mengubah masukan menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Langkah kedua melibatkan penerapan fungsi implikasi, di mana aturan dasar *fuzzy* menghubungkan fungsi keanggotaan input dengan bentuk fungsi keanggotaan output.

3. Agregasi Komponen Aturan

Jika sistem terdiri dari beberapa aturan ini melibatkan pengumpulan dan korelasi antara aturan, yang diperoleh dengan menghitung hasil dari $\sum_{r=1}^R a_r z_r$ dengan R adalah jumlah aturan yang ada, a_r adalah a predikat ke- r , dan z_r adalah output pada anteseden aturan ke- r .

4. Defuzzifikasi (Penegasan):

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, di mana nilai rata-ratanya dicari berdasarkan persamaan:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

dengan a_i adalah a predikat ke- i , dan z_i adalah output pada anteseden aturan ke- i .

Dalam metode Sugeno, terdapat dua jenis model yang umum digunakan, yaitu:

1. Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Nol:

Model ini memiliki bentuk umum yang menunjukkan hubungan antara himpunan *fuzzy* sebagai anteseden dan konstanta sebagai konsekuen. Persamaan umumnya adalah:

$$\begin{aligned} &IF(x_1 \text{ is } A_1) \text{ and } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_N \text{ is } A_N) \\ &THEN z = k \end{aligned}$$

di mana A_i merupakan himpunan *fuzzy* ke- i sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

2. Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Satu:

Model ini juga melibatkan himpunan *fuzzy* sebagai anteseden, namun, selain konstanta, model ini juga memperhitungkan suatu konstanta tambahan pada konsekuen, sehingga memiliki bentuk yang sedikit lebih kompleks. Persamaan umumnya adalah:

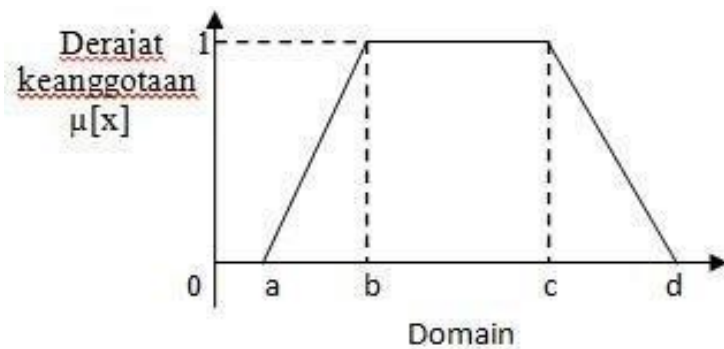
$$IF(x_1 \text{ is } A_1) \text{ and } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ and } \dots \text{ and } (x_N \text{ is } A_N)$$

$$THEN z = p_1 * x_1 + p_2 * x_2 + \dots + p_N * X_N + q$$

di mana A_i adalah himpunan *fuzzy* ke- i sebagai anteseden, p_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i , dan q juga merupakan suatu konstanta pada konsekuen. Dua jenis model ini memberikan representasi dari aturan *fuzzy* yang digunakan dalam metode Sugeno, yang merupakan dasar dari *Fuzzy Inference System* (FIS) dalam pengambilan keputusan (Widaningsih, 2017).

2.6.4 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan (*membership function*) dalam logika *fuzzy* merupakan kurva yang mewakili besar suatu input yang berada dalam interval antara 0 dan 1. Di mana, 0 yang bukan merupakan suatu himpunan, dan 1 sepenuhnya merupakan bagian dari himpunan. Jenis fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu, *trapezoidal* (trapezium). Grafik keanggotaan kurva trapezium memiliki nilai anggota 0 dan 1 (Widaningsih, 2017).



Gambar 6 Grafik Keanggotaan Kurva Trapezium

Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/Representasi-Kurva-Trapezium-Fungsi-keanggotaan>

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x) \begin{cases} \mu(x) = 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a) / (b - a); & a \leq x \text{ atau } x \leq b \\ \mu(x) = 0; & b \leq x \text{ atau } x \leq c \\ (d - x) / (d - c); & c \leq x \text{ atau } x \leq d \end{cases} \quad (2)$$

2.6.5 Pembentukan Rule Fuzzy

Pembentukan aturan *fuzzy* dalam sistem ini menggunakan metode regresi linear berganda. Metode ini menentukan variabel-variabel input seperti, suhu tubuh asli, suhu lingkungan, kelembaban lingkungan, dan jarak dapat mempengaruhi output (suhu tubuh aktual). Dalam hal ini, regresi linear berganda digunakan untuk mendapatkan persamaan hubungan matematis. Tahapan pembentukan *rule fuzzy*:

1. Pengumpulan Data. Data yang dikumpulkan dari sensor MLX90614 (suhu tubuh), DHT22 (suhu dan kelembaban lingkungan), dan ultrasonic (jarak). Data ini digunakan sebagai variabel input untuk regresi linear berganda.
2. Membentuk model Regresi Linear Berganda.
3. Pembentukan Rule. Setelah persamaan regresi didapatkan, nilai-nilai koefisien dari persamaan tersebut diubah menjadi aturan *fuzzy*.

2.6.6 Mean Absolute Percentage (MAPE)

MAPE menghitung rata-rata kesalahan relatif antara nilai estimasi dan nilai aktual, yang berguna dalam konteks data persentase atau skala (Widaningsih, 2017). MAPE adalah salah satu ukuran yang paling populer dari akurasi prediksi (Kim & Kim, 2016). Menurut Harun (1999), hasil peramalan dianggap sangat baik apabila nilai MAPE berada dibawah 10%, dan dikatakan baik jika nilai MAPE kurang dari 20%. MAPE menunjukkan akurasi prediksi dalam persentase. MAPE dirumuskan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{y}(i) - y(i)}{y(i)} \right| \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- $y(i)$: Nilai aktual
 $\hat{y}(i)$: Nilai estimasi
 N : Jumlah data

2.7 Analisis Kluster

Analisis kluster adalah Teknik multivariat yang digunakan untuk mengelompokkan objek-objek berdasarkan karakteristiknya. Dalam Teknik ini, objek-objek yang memiliki kemiripan paling dekat dengan objek lain ditempatkan dalam kluster yang sama. Salah satu analisis kluster yang umum digunakan adalah *K-Means Cluster*. *K-Means Cluster Analysis* adalah model klustering non-hirarki yang digunakan untuk membagi data menjadi satu atau lebih kelompok berdasarkan karakteristiknya. Pada metode ini, data yang memiliki karakteristik serupa akan dikelompokkan dalam kluster yang sama, sementara data dengan karakteristik yang berbeda akan ditempatkan dalam kluster lain. Proses analisis K-Means diawali dengan menentukan jumlah kluster yang diinginkan (k) dan memilih pusat awal dari masing-masing kluster secara acak. Kemudian, jarak antara setiap data dengan pusat kluster dihitung, biasanya menggunakan jarak *Euclidean*, untuk mengelompokkan data berdasarkan jarak minimum dari pusat kluster. Selanjutnya, pusat kluster diperbarui dengan menghitung rata-rata dari seluruh data dalam kluster tersebut. Proses ini diulang hingga tidak ada lagi data yang berpindah kluster atau pusat kluster tidak berubah, menghasilkan kluster yang optimal sesuai karakteristik data (Arini, 2023)

2.7.1 Metode Elbow

Metode Elbow adalah teknik yang digunakan untuk menentukan jumlah cluster yang optimal dengan menganalisis persentase hasil perbandingan antara jumlah kluster yang membentuk titik siku pada grafik. Jika perbandingan antara nilai kluster pertama dan nilai cluster kedua menghasilkan sudut pada grafik atau menunjukkan penurunan terbesar, maka jumlah cluster tersebut dianggap sebagai yang paling tepat. Perbandingan dapat diperoleh dengan menghitung *Sum of Square Error* (SSE) dari setiap nilai cluster. Semakin besar jumlah nilai cluster K , maka nilai SSE akan semakin menurun (Ayu et al., 2019).

$$SSE = \sum_{K=1}^K \sum_{x_i} |x_i - c_k|^2 \quad (4)$$

Di mana K mengacu pada cluster ke- c , x_1 menunjukkan jarak data objek ke- i , dan c_k pusat cluster ke- i .

2.8 Regresi Linear

Regresi linier adalah teknik analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu atau lebih variabel independen (prediktor) dan satu variabel dependen (respon). Tujuan utama dari regresi linier adalah untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen (Khuri, 2013). Jenis-jenis regresi linear, yaitu:

1. Regresi Linier Sederhana. Melibatkan satu variabel independen dan satu variabel dependen. Persamaan umumnya adalah:

$$Y = \alpha + \beta X + \epsilon \quad (5)$$

di mana Y adalah variabel dependen, X adalah variabel independen, α adalah intercept, β adalah koefisien regresi, dan ϵ adalah kesalahan.

2. Regresi Linier Berganda. Melibatkan lebih dari satu variabel independen. Persamaan umumnya adalah:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (6)$$

Keterangan:

Y : Variabel dependen (suhu tubuh aktual)

$X_1, X_2, \dots, X_n$: Variabel independen

a : Konstanta

$b_1, b_2, \dots, b_n$: Koefisien yang menunjukkan seberapa besar pengaruh masing-masing variabel independen terhadap output.