

Program Pengendali Kipas Angin Berdasarkan Suhu dan Kelembaban Menggunakan Logika Fuzzy

Mochamad Nurul Taufid¹, Imeldha Elzandy², Adelia Putri Adyani³, Anggraini Puspita Sari^{4*}

^{1,2,3,4} Program Studi Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
¹21081010013@student.upnjatim.ac.id , ²21081010039@student.upnjatim.ac.id
³21081010047@student.upnjatim.ac.id ⁴ anggraini.puspita.if@upnjatim.ac.id

*Corresponding author email: anggraini.puspita.if@upnjatim.ac.id

Abstrak— Pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim yang tidak stabil dan peningkatan permukaan laut yang dikarenakan emisi gas rumah kaca, seperti metana dan karbondioksida, akibat aktivitas manusia. Melalui Program Pengendalian Kecepatan Kipas Angin dengan logika fuzzy berdasarkan Suhu dan Kelembaban memiliki manfaat dalam menghemat energi listrik, mengurangi dampak pemanasan global, serta meningkatkan efisiensi energi. Dalam logika fuzzy terdapat tiga metode yang sering digunakan, diantaranya yaitu metode Tsukamoto, Mamdani, dan Sugeno. yang membedakannya adalah agregasi, defuzzifikasi dan konsekuensi aturan fuzzy. Penerapan metode fuzzy Mamdani dan Tsukamoto dalam Program Pengendali Kipas Angin, memiliki 2 input yaitu suhu dan kelembaban yang memiliki nilai himpunan berupa suhu dingin, suhu hangat, suhu panas, kelembaban kering, kelembaban normal, serta kelembaban basah yang akan menghasilkan sebuah output kecepatan yang memiliki nilai himpunan kecepatan lambat, kecepatan sedang, kecepatan cepat. Pengujian tingkat keakuratan metode Mamdani dan Tsukamoto memperoleh nilai akurasi sebesar 73,27737824964979% untuk metode Mamdani dan 73,2775468129201% untuk metode Tsukamoto dengan selisih nilai keakuratan sekitar 0,000168 persen. Metode Tsukamoto memiliki tingkat akurasi yang lebih besar daripada metode mamdani pada program pengendali kipas angin berdasarkan suhu dan kelembaban.

Kata Kunci— Fuzzy Logic, Metode Mamdani, Metode Tsukamoto, Kipas Angin, Suhu, Kelembaban, Kecepatan.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, kita menghadapi masalah serius akibat pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim yang tidak stabil dan peningkatan permukaan laut. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dapat mengurangi efek buruk terhadap lingkungan, efek rumah kaca (seperti pemanasan global), limbah dan polusi udara. Emisi gas rumah kaca seperti metana dan karbondioksida dapat memperburuk tingkat kesehatan udara baik didalam dan di luar ruangan[16].

Salah satu cara untuk melawan efek pemanasan global adalah dengan mengurangi konsumsi energi listrik. Banyak perangkat pendingin ruangan seperti kipas angin yang sering dibiarkan menyala tanpa memperhatikan penggunaan energi yang boros. Kipas angin biasanya memiliki beberapa tingkat kecepatan yang dapat disesuaikan dengan preferensi

pengguna. Namun, dalam beberapa situasi, seperti saat suhu dan kelembaban udara berubah secara signifikan, mengatur kecepatan kipas angin secara manual tidak efisien.

Dengan pengendali kecepatan kipas angin otomatis berdasarkan suhu dan kelembaban dapat menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan sejuk dalam ruangan. selain menciptakan kenyamanan, pengendalian kecepatan kipas ini juga dapat membantu menghemat energi. Dengan mengoptimalkan kecepatan kipas angin sesuai dengan kondisi lingkungan, penggunaan energi dapat dikurangi. Hal ini dapat berdampak positif pada pengurangan penggunaan listrik dan biaya energi.

Dengan kemajuan teknologi IoT (Internet of Things) dan konektivitas nirkabel, pengendalian kecepatan kipas angin berdasarkan suhu dan kelembaban dapat diimplementasikan secara lebih mudah dan terhubung dengan sistem pintar lainnya di rumah atau kantor. Secara keseluruhan, pengendalian kecepatan kipas angin berdasarkan suhu dan kelembaban adalah solusi yang cerdas, efisien, dan nyaman untuk menciptakan lingkungan yang optimal di dalam ruangan.

II. LANDASAN TEORI

A. Kecepatan Kipas Angin

Kipas angin adalah perangkat yang digunakan untuk menurunkan hawa panas di dalam ruangan. Pada awalnya, kipas angin hanya digerakkan oleh tangan dari anyaman bambu. Pada akhirnya, ada kipas angin listrik yang menghasilkan angin melalui motor. Dalam pengaturan kecepatannya terdapat tombol dengan kecepatan 1, 2 dan 3 [1].

Pada bagian yang bergerak pada kipas angin memiliki dua pipih magnet. Saat dialiri listrik pada kawat kumparan besi tersebut berubah menjadi magnet. Gaya tolak-menolak magnet antara kedua kutubnya membuat kumparan berputar secara berkala. Sehingga baling-baling kipas angin dikaitkan dengan poros magnet tersebut [2].

Jika dikategorikan dengan linguistik kecepatan kipas angin dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu Lambat, Sedang dan Cepat. Kecepatan kipas angin didalam ruangan rata-rata memiliki rentan nilai antara 0 - 185 rps (*rotation per second*). Dalam menentukan kecepatan, pengguna biasanya melihat dari faktor ketinggian suhu dan kelembaban dalam ruangan.

B. Suhu dalam Ruangan

Suhu dapat digambarkan seperti kumpulan energi panas pada suatu benda menjadi derajat panas serta dingin spesifik sebagai acuan pada skala tertentu. Energi molekuler, yang mencakup energi vibrasi partikel, berkorelasi langsung dengan energi panas. Tingkat energi molekuler terkait langsung dengan tingkat energi panas[3].

Suhu didalam ruangan berpengaruh besar dalam kenyamanan seseorang di ruangan tersebut. Untuk suhu ideal suatu ruangan merupakan 19-22°C untuk kalangan anak-anak hingga dewasa[4]. Sedangkan menurut laman website BMKG dua bulan terakhir di daerah Surabaya memiliki Suhu rata-rata sekitar 25-40°C[5].

Oleh karena itu kipas angin atau alat penyejuk ruangan lainnya memiliki peran penting dalam mengatur suhu didalam ruangan untuk menunjang kenyamanan ruangan tersebut.

C. Kelembaban Udara dalam Ruangan

Perbandingan banyak uap air di udara pada waktu tertentu dengan maksimal jumlahnya yang bisa diterima oleh udara pada suhu dan tekanan yang sama bisa dikenal sebagai kelembaban[6].

Kelembaban udara relatif (juga disebut kelembaban relatif RH) adalah perbandingan tekanan uap air jenuh dan aktual pada suhu tertentu. Kelembaban relatif dapat juga diartikan sebagai rasio banyak uap air dalam udara di suatu waktu dengan jumlah maksimalnya yang bisa diterima pada tekanan dan suhu yang sama.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas kerja karyawan, yakni gaji, lingkaran kerja, kepuasan komunikasi dan faktor-faktor lainnya. Dalam faktor lingkungan kerja terdapat kategori fisik dan non-fisik. Lingkungan kerja fisik memiliki pengaruh besar dalam produktivitas perusahaan pada umumnya. Lingkungan kerja fisik salah satunya suhu dan kelembaban yang menunjang kenyamanan dan penyebab timbulnya penyakit akibat kecelakaan kerja jika suhu dan kelembabannya tidak ideal[7].

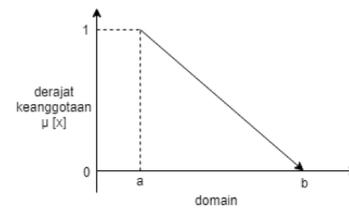
Kelembaban ideal suatu ruangan antara 40-60% kadar air di udara[8]. Dengan kelembaban ideal tersebut dapat menunjang kinerja karyawan menjadi lebih baik. Sedangkan kelembaban rata-rata di kota Surabaya merupakan ±55% kadar air diudara. Dengan begitu kelembaban di Kota Surabaya masih di tahap ideal[9].

D. Logika Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy, atau FIS, biasanya menggunakan logika fuzzy untuk melakukan pemetaan nonlinear dari ruang input ke ruang output. Sistem logika ini menggambarkan nilai dari vektor masukan dan mengirimkan nilai yang sama ke vektor keluaran berdasarkan rule himpunan fuzzy.[10].

Sebelum memasuki tahapan penyusunan sistem logika fuzzy terlebih dahulu harus menentukan fungsi membership fuzzy. Membership function merupakan garis lengkung yang menggambarkan pemetaan suatu titik masukan pada data keanggotaannya[11].

- Linear Turun



Gambar. 1 Representasi Linear Turun

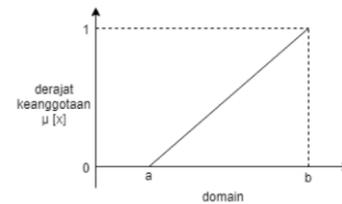
Persamaan:

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

Keterangan:

- a = domain dengan membership 1
- b = domain dengan membership 0
- x = masukan untuk diubah ke fuzzy

- Linear Naik



Gambar. 2 Representasi Linear Naik

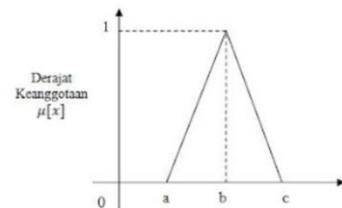
Persamaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; 0; x \leq a \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

Keterangan:

- a = domain dengan membership 0
- b = domain dengan membership 1
- x = masukan untuk diubah ke fuzzy

- Segitiga



Gambar 3 Representasi Kurva Segitiga

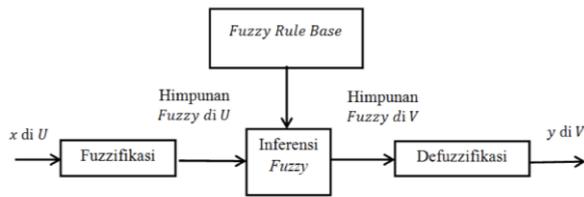
Persamaan:

$$\mu[x, a, b, c] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3)$$

Keterangan:

- a = domain minimum dengan membership 0
- b = domain dengan membership 1
- c = domain maksimum membership 0

Terdapat empat tahapan dalam menyusun sistem logika fuzzy yang dapat di lihat dari Gambar 4.



Gambar 4 Susunan Sistem Fuzzy

Tahap awal dalam penyusunan sistem fuzzy yaitu Fuzzifikasi yang memiliki pengertian mengubah nilai *crisp* atau data tegas ke dalam nilai *fuzzy*. Fuzzifikasi dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah menghitung atribut numerik yang ada. Ini termasuk mencatat semua atribut numerik dan kemudian membuat range untuk masing-masing atribut. Selanjutnya, nilai kemiripan antara daftar data pelatihan dan data ujian dibagi dengan nilai range untuk masing-masing atribut. Proses ini akan menghasilkan nilai kemiripan yang berkisar antara 0 dan 1 [12].

Dengan menggunakan variabel linguistik, logika *fuzzy rule base* menggambarkan secara logis semua kemungkinan yang dapat terjadi pada suatu sistem. Ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam sistem tanpa memberikan penjelasan sistematis dan menggunakan prinsip aturan IF THEN ELSE [13].

Pada tahap inferensi fuzzy dan defuzzifikasi Metode Tsukamoto dan Metode Mamdani memiliki cara masing-masing. Metode mamdani dapat juga disebut metode Maksimum-minimum yang telah diciptakan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 silam. Terdapat beberapa tahapan pembentukan pada himpunan fuzzy, yaitu aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan penegasan atau defuzzifikasi. komposisi aturan dalam inferensi sistem mamdani adalah max, additive dan probabilistik [14], [15], [16].

- Persamaan Metode Max
 $\mu_{sf}[xi] = \max(\mu_{sf}[xi], \mu_{kf}[xi])$

keterangan :

$\mu_{sf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan solusi fuzzy hingga aturan ke-i;
 $\mu_{kf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan konsekuen fuzzy pada aturan ke-i;

- Persamaan Metode Additive
 $\mu_{sf}[xi] = \min(1, \mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi])$

keterangan :

$\mu_{sf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan solusi fuzzy hingga aturan ke-i;
 $\mu_{kf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan konsekuen fuzzy pada aturan ke-i;

- Persamaan Probabilistik
 $\mu_{sf}[xi] = (\mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi] - (\mu_{sf}[xi] * \mu_{kf}[xi]))$

keterangan :

$\mu_{sf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan solusi fuzzy hingga aturan ke-i;
 $\mu_{kf}[xi]$, yaitu nilai keanggotaan konsekuen fuzzy pada aturan ke-i;

Input proses defuzzifikasi pada metode mamdani merupakan suatu himpunan fuzzy yang memiliki hasil dari komposisi aturan fuzzy dan outputnya adalah bilangan yang terdapat pada domain himpunan fuzzy. Sehingga, apabila suatu himpunan fuzzy diberikan pada batasan tertentu, maka outputnya harus menjadi nilai *crisp* tertentu.

Rumus Centroid:

$$z^* = \frac{\int_z^0 z\mu(z)dz}{\int_z^0 \mu(z)} \text{ atau } z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (4)$$

Setiap aturan metode Tsukamoto biasanya menggunakan perhitungan yang monoton. Dimana pada konsekuensi dari rule yang berbentuk IF-THEN biasanya harus diwakili dengan menambahkan himpunan lain yang bersifat kabur dengan fungsi keanggotaan monoton. Sehingga, hasil inferensi dari tiap rule atau aturan yang diberikan secara tegas dapat berdasarkan alpha predikat. Agregasi pada setiap aturan adalah proses yang digunakan untuk mendapatkan hasil akhir, yang diperoleh melalui penggunaan defuzzifikasi dengan gagasan rata-rata [12], [15], [17].

Aturan keanggotaan fuzzy, rule fuzzy adalah IF-THEN atau jika-maka, dan penalaran metode Tsukamoto, yang merupakan penarikan kesimpulan dari aturan atau kaidah fuzzy. Sistem ini memiliki masukan dan keluaran berupa nilai *crisp*.

Dalam defuzzifikasi Metode Tsukamoto menggunakan *Method Weighted Average* berbeda dengan Metode Mamdani karena prosesnya cuma bisa dipakai apabila output fungsi keanggotaan dari prosesnya sama dengan metode yang digunakan. Dapat dirumuskan seperti berikut.

$$Z = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i} \quad (5)$$

Keterangan:

Z = defuzzifikasi

\square = alpha predikat

= output inferensi

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

Dalam menjalankan penelitian ini kamu melakukan studi pustaka untuk mengumpulkan data dan referensi yang berhubungan dengan perancangan sistem fuzzy melalui jurnal di internet dan tulisan lain, membuat dan merancang susunan sistem fuzzy dengan variabel input suhu dan kelembaban serta variabel output kecepatan kipas, mengimplementasikan susunan sistem logika fuzzy ke dalam bahasa pemrograman python, kemudian melakukan uji coba dengan menggunakan dataset.

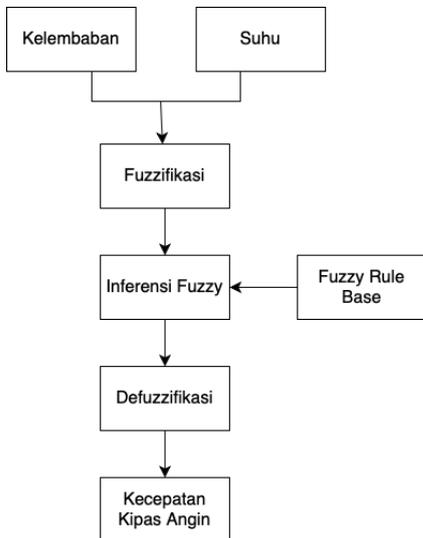
- Studi Pustaka

Dilakukan pengumpulan jurnal-jurnal dan tulisan lainnya sebagai referensi, di internet yang berhubungan dengan

Kecepatan kipas angin, Suhu dan kelembaban udara ruangan. Serta Penyusunan sistem logika fuzzy dengan Metode Mamdani dan Tsukamoto.

● Perancangan Sistem Fuzzy

Pada Gambar 5 merupakan penyusunan sistem logika fuzzy dimulai dengan masukan suhu dan kelembaban kemudian diolah dengan logika fuzzy dengan Metode Mamdani dan Tsukamoto kemudian akan diperoleh output yang berupa kecepatan kipas angin.



Gambar 5 Perancangan Sistem Fuzzy

● Implementasi Program

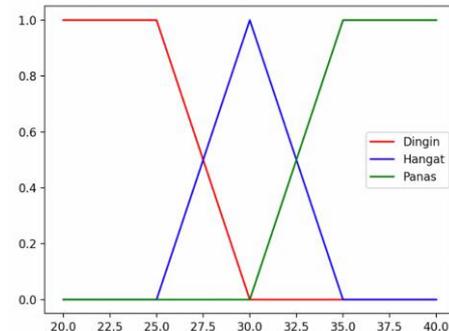
Implementasi program dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python. Dengan menggunakan modul fuzzy yang sudah disediakan oleh bahasa Python yakni 'skfuzzy' pembuatan sistem logika fuzzy dalam program dapat dibuat dengan baik. Serta dengan menggunakan modul 'numpy' perhitungan angka dalam program juga bisa dilakukan dengan akurat dan sempurna. Dalam pembuatan grafik program dilakukan dengan menggunakan modul 'matplotlib.pyplot' yaitu modul bawaan bahasa python yang memungkinkan untuk membuat grafik dengan banyak garis dan berbagai warna. Selain itu grafik yang ditampilkan bisa dilihat langsung beserta dengan hasil perhitungan.

B. Variabel Masukan dan Fungsi Keanggotaan

Variabel suhu dan kelembaban ruangan merupakan variabel masukan yang menjadi aspek penting dalam pengendali kecepatan kipas. Variabel ini nantinya akan ditulis secara matematis sehingga dapat memperoleh fungsi keanggotaan sehingga nantinya akan mendapatkan suatu nilai pada himpunan fuzzy. Tabel 1 dan 2 merupakan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan suhu(dalam celcius) dan kelembaban(dalam persen) sedangkan Tabel 3 merupakan fungsi keanggotaan untuk variabel keluaran kecepatan(dalam rotations per second).

Tabel 1 Fungsi Keanggotaan Suhu

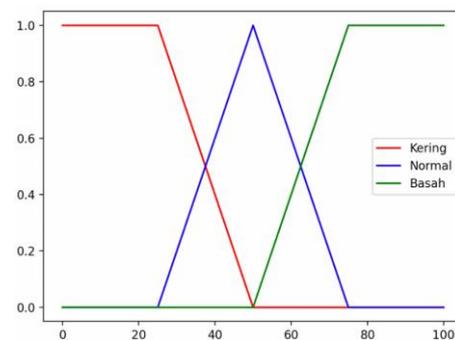
°C	Linguistik
20 - 25	Dingin
26 - 35	Hangat
36 - 40	Panas



Gambar 6 Grafik Fungsi Keanggotaan Suhu

Tabel 2 Fungsi Keanggotaan Kelembaban

%	Linguistik
0 - 25	Kering
26 - 75	Normal
76 - 100	Basah



Gambar 7 Grafik Fungsi Keanggotaan Kelembaban

Tabel 3 Fungsi Keanggotaan Kecepatan

Rps	Linguistik
0 - 62	Lambat
61 - 124	Sedang
125 - 185	Cepat

C. Pembuatan Aturan Sistem Fuzzy

Pada pembuatan aturan sistem pengendali kipas berdasarkan variabel suhu dan kelembaban ruangan memiliki langkah-langkah, yaitu sebagai berikut :

1. Identifikasi Variabel

- Variabel Suhu, Variabel suhu ini didapatkan dari suhu ruangan yang berupa Celcius ($^{\circ}\text{C}$).
- Variabel Kelembaban, Variabel Kelembaban didapatkan dari kelembaban ruangan.
- Variabel Kecepatan, Variabel kecepatan ini didapatkan dari analisis perhitungan dari suhu dan kelembaban.

2. Himpunan Setiap Variabel

- Pengendali Suhu
Himpunan : “Dingin”, “Hangat”, dan “Panas”
- Pengendali Kelembaban
Himpunan : “Kering”, “Normal”, dan “Basah”
- Pengendali Kecepatan
Himpunan : “Lambat”, “Sedang”, dan “Cepat”

3. Identifikasi Aturan

- Aturan 1 : Jika Suhu=Dingin dan Kelembaban=Kering, maka Kecepatan=Lambat.
 Aturan 2 : Jika Suhu=Dingin dan Kelembaban=Normal, maka Kecepatan=Lambat.
 Aturan 3 : Jika Suhu=Dingin dan Kelembaban=Basah, maka Kecepatan=Lambat.
 Aturan 4 : Jika Suhu=Hangat dan Kelembaban=Kering, maka Kecepatan=Sedang.
 Aturan 5 : Jika Suhu=Hangat dan Kelembaban=Normal, maka Kecepatan=Sedang.
 Aturan 6 : Jika Suhu=Hangat dan Kelembaban=Basah, maka Kecepatan=Cepat.
 Aturan 7 : Jika Suhu=Panas dan Kelembaban=Kering, maka Kecepatan=Sedang.
 Aturan 8 : Jika Suhu=Panas dan Kelembaban=Normal, maka Kecepatan=Cepat.
 Aturan 9 : Jika Suhu=Panas dan Kelembaban=Basah, maka Kecepatan=Cepat.

D. Penentuan Dataset

Datasets akan digunakan sebagai sumber data untuk menguji hingga mempelajari model dari sistem pengendali kipas pada yang ada pada Tabel 4.

Tabel 4 Dataset

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (%)	Z*Kipas (%)		Ket Kecepatan	
			Sistem	Manual	Sistem	Manual
1	25.6	96.3	55	55	Sedang	Sedang
2	23	93.6	55	55	Sedang	Sedang
3	28.3	84.5	55	55	Sedang	Sedang
4	28.6	82.5	55	55	Sedang	Sedang

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (%)	Z*Kipas (%)		Ket Kecepatan	
			Sistem	Manual	Sistem	Manual
5	29.4	78	161.75	161.75	Cepat	Cepat
6	33.7	56.8	129.77	129.77	Cepat	Cepat
7	38.1	64	165.07	165.07	Cepat	Cepat
8	35.8	60.7	165.06	165.06	Cepat	Cepat
9	21.7	99.9	14.76	14.76	Berhenti	Berhenti
10	20.6	99.9	12.5	12.5	Berhenti	Berhenti
11	32.9	79.7	102.92	102.92	Cepat	Cepat
12	29.7	79.1	164.56	164.56	Cepat	Cepat

E. Perhitungan Fuzzifikasi

Untuk melakukan perhitungan fuzzifikasi membutuhkan aturan pada fungsi keanggotaan, kami menggunakan fungsi keanggotaan metode trapesium untuk mendapatkan derajat keanggotaan.

1. Rumus derajat keanggotaan bahu kiri :

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (6)$$

a = batas atas

b = batas bawah

2. Rumus derajat keanggotaan segitiga :

$$\mu[x, a, b, c] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (7)$$

a = batas atas

b = batas tengah

c = batas bawah

3. Rumus derajat keanggotaan bahu kanan :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (8)$$

a = batas atas

b = batas bawah

Lalu jika, kita memasukkan suhu 27.5°C dengan himpunan dingin dan hangat, maka akan memperoleh derajat keanggotaan yang masing masingnya seperti berikut :

- Dingin = $(30 - x)/(30 - 35) = (30 - 27.5)/5 = 1/2$
- Hangat = $(x - 25)/(30 - 25) = (27.5 - 25)/5 = 1/2$
- Panas = 0

Untuk mengetahui derajat keanggotaan variabel kelembaban maka dapat dimasukkan, nilai kelembaban 60% dengan himpunan normal dan basah, maka akan menghasilkan derajat keanggotaan sebagai berikut :

- Kering = 0
- Normal = $(75 - x)/(75 - 50) = (75 - 60)/25 = 3/5$
- Basah = $(x - 50)/(75 - 50) = (60 - 50)/25 = 2/5$

F. Pemodelan Aturan

Pada sistem pengendali kipas yang diatur berdasarkan suhu dan kelembaban ruangan akan dapat menghasilkan keluaran berupa kecepatan kipas. Aturan yang telah dibuat sebelumnya dapat digunakan untuk menghubungkan 2 variabel, yaitu variabel masukan yang berisi suhu dan kelembaban, dengan variabel keluaran yang berisi kecepatan kipas. Pada aturan sebelumnya terdapat 3 tingkatan kecepatan, yaitu sebagai berikut :

- Kecepatan Cepat
 $z = (\text{apred}[i] * (z2 - z1)) + z1$
 $z = (\text{apred}[i] * (185-124))+124$
 $z = (\text{apred}[i] * 61)+124$
- Kecepatan Sedang
 $z = (\text{apred}[i] * (z2 - z1)) + z1$
 $z = (\text{apred}[i] * (185-62)) + 62$
 $z = (\text{apred}[i] * 123)+62$
- Kecepatan Lambat
 $z = (\text{apred}[i] * (z2 - z1)) + z1$
 $z = (\text{apred}[i] * (124-0))+0$
 $z = (\text{apred}[i] * 124)$

Dalam setiap tingkatan kecepatan, $\text{apred}[i]$ menjadi derajat keanggotaan yang terdapat pada suatu himpunan, sehingga nantinya akan mengeluarkan keputusan berdasarkan variabel masukan yaitu variabel suhu dan kelembaban ruangan.

G. Inferensi dan Defuzzifikasi

1. Metode Mamdani

Dalam inferensi metode Mamdani, kita dapat menginputkan 4 fungsi keanggotaan yang telah dihitung agar mendapatkan 4 aturan dari 9 aturan yang ada, 4 fuzzifikasi yang diinput adalah Suhu dingin(0.5), suhu hangat (0.5), kelembaban normal(0.6), serta kelembaban basah (0.4) yang akan mendapatkan aturan :

- JIKA suhu dingin DAN kelembaban normal MAKA kecepatan lambat
- JIKA suhu dingin DAN kelembaban basah MAKA kecepatan lambat
- JIKA suhu hangat DAN kelembaban normal MAKA kecepatan sedang
- JIKA suhu hangat DAN kelembaban basah MAKA kecepatan cepat

Aturan diatas dapat digunakan untuk mencari komposisi dari aturan disjunction dengan fungsi minimal

- suhu (0.5) ^ kelembaban (0.6) = akselerasi lambat (0.5)

- suhu (0.5) ^ kelembaban (0.4) = akselerasi lambat (0.4)
- suhu (0.5) ^ kelembaban (0.6) = akselerasi sedang (0.5)
- suhu (0.5) ^ kelembaban (0.4) = akselerasi cepat (0.4)

Setelah memperoleh nilai akselerasi maka kita akan memperoleh nilai dari komposisi aturan disjunction dengan fungsi maximal, yaitu :

- Lambat (0.5)
- Lambat(0.4)
- Sedang (0.5)
- Tinggi(0.4)

Dalam defuzzifikasi metode mamdani menggunakan centroid yang merupakan metode sederhana untuk mencari titik pusat atau yang disebut centroid dari output yang kita peroleh (Wardana, n.d.). Berikut adalah rumus metode centroid pada proses defuzzifikasi :

$$z^* = \frac{\int \mu_x(z).zdz}{\int \mu_x(z)dz} \quad (9)$$

z = nilai output yaitu kecepatan

μ = nilai alfa-predikat untuk tiap rule nya

2. Metode Tsukamoto

Dalam inferensi metode Tsukamoto dengan suhu dan kelembaban yang telah kita masukkan pada fungsi keanggotaan, maka dapat diperoleh nilai minimal dari suhu dan kelembaban melalui alfa-predikat lalu dapat juga mengetahui nilai akselerasi dari output kecepatan kita. Berikut adalah nilai minimal dari suhu dan kelembaban yang diperoleh melalui alfa-predikat :

- IF suhu dingin AND kelembaban kering = 0
- IF suhu dingin AND kelembaban normal = 0.5
- IF suhu dingin AND kelembaban basah = 0.4
- IF suhu hangat AND kelembaban kering = 0
- IF suhu hangat AND kelembaban normal = 0.5
- IF suhu hangat AND kelembaban basah = 0.4
- IF suhu panas AND kelembaban kering = 0
- IF suhu panas AND kelembaban normal = 0
- IF suhu panas AND kelembaban basah = 0

Setelah memperoleh nilai minimal suhu dan kelembaban maka kita dapat mencari nilai akselerasi untuk output kecepatan :

- rule 1 (lambat) : $(\text{apred} * 124) = (0 * 124) = 0$
- rule 2 (lambat) : $(\text{apred} * 124) = (0.5 * 124) = 62$
- rule 3 (lambat) : $(\text{apred} * 124) = (0.4 * 124) = 49.6$
- rule 4 (sedang) : $(\text{apred} * 123) + 62 = (0 * 123) + 62 = 62$
- rule 5 (sedang) : $(\text{apred} * 123) + 62 = (0.5 * 123) + 62 = 123.5$
- rule 6 (cepat) : $(\text{apred} * 61) + 124 = (0.4 * 61) + 124 = 148.4$

- rule 7 (sedang) : $(\text{apred} * 123) + 62 = (0 * 123) + 62 = 62$
- rule 8 (cepat) : $(\text{apred} * 61) + 124 = (0 * 61) + 124 = 124$
- rule 9 (cepat) : $(\text{apred} * 61) = (0 * 61) + 124 = 124$

Dalam defuzzifikasi menggunakan metode tsukamoto ini merubah kembali nilai data fuzzy ke dalam bentuk nilai yang pasti dengan cara menghitung rata-ratanya (Omara et al., 2012, 119). Berikut adalah rumus untuk mengetahui nilai kecepatan dengan proses defuzzifikasi menggunakan metode tsukamoto yang berdasarkan dengan menghitung nilai rata rata :

$$z = \frac{\sum \mu_i z_i}{\sum \mu_i}$$

z = nilai output atau kecepatan

μ = nilai alfa-predikat untuk tiap rule nya

$$z = \frac{[(a1 * z1) + (a2 * z2) + (a3 * z3) + (a4 * z4) + (a5 * z5) + (a6 * z6) + (a7 * z7) + (a8 * z8) + (a9 * z9)]}{a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6 + a7 + a8 + a9}$$

$$z = \frac{[(0 * 0) + (0.5 * 62) + (0.4 * 49.6) + (0 * 62) + (0.5 * 123.5) + (0.4 * 148.4) + (0 * 62) + (0 * 124) + (0 * 124)]}{0 + 0.5 + 0.4 + 0 + 0.5 + 0.4 + 0 + 0 + 0}$$

$$z = 171.95 / 1.8$$

$$z = 95.5277 \text{ rps}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa Suhu = 27.5°C dan Kelembaban = 60% akan menghasilkan Kecepatan Kipas = 95.5277 rps.

H. Pemrograman dengan Bahasa Python

1. Variabel masukan dan keluaran

```
# Input
suhu = ctrl.Antecedent(np.arange(20, 41, 1), 'suhu')
kelembaban = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 1), 'kelembaban')

# Output
kecepatan_kipas = ctrl.Consequent(np.arange(0, 186, 1), 'kecepatan_kipas')
```

Gambar 8 Variabel masukan dan keluaran

2. Fungsi Keanggotaan

```
# Fungsi Keanggotaan
suhu['dingin'] = fuzz.trapmf(suhu.universe,
[20, 20, 25, 30])
suhu['hangat'] = fuzz.trimf(suhu.universe,
[25, 30, 35])
suhu['panas'] = fuzz.trapmf(suhu.universe,
[30, 35, 40, 40])
```

```
kelembaban['kering'] = fuzz.trapmf(kelembaban.universe,
[0, 0, 25, 50])
kelembaban['normal'] = fuzz.trimf(kelembaban.universe,
[25, 50, 75])
kelembaban['basah'] = fuzz.trapmf(kelembaban.universe,
[50, 75, 100, 100])
```

```
kecepatan_kipas['lambat'] = fuzz.trapmf(kecepatan_kipas.universe,
[0, 0, 62, 124])
kecepatan_kipas['sedang'] = fuzz.trimf(kecepatan_kipas.universe,
[62, 124, 185])
kecepatan_kipas['cepat'] = fuzz.trapmf(kecepatan_kipas.universe,
[124, 185, 185, 185])
```

Gambar 9 Fungsi keanggotaan program Mamdani

Pembentukan fungsi keanggotaan suhu

```
suhu_rendah = fuzz.trapmf(suhu,
[20, 20, 25, 30])
suhu_normal = fuzz.trimf(suhu,
[25, 30, 35])
suhu_tinggi = fuzz.trapmf(suhu,
[30, 35, 40, 40])
```

Pembentukan fungsi keanggotaan kelembaban

```
kelembaban_kering = fuzz.trapmf(kelembaban,
[0, 0, 25, 50])
kelembaban_normal = fuzz.trimf(kelembaban,
[25, 50, 75])
kelembaban_basah = fuzz.trapmf(kelembaban,
[50, 75, 100, 100])
```

Pembentukan fungsi keanggotaan tingkat penyakit

```
kecepatan_lambat = fuzz.trapmf(kecepatan,
[0, 0, 62, 124])
kecepatan_sedang = fuzz.trimf(kecepatan,
[62, 124, 185])
kecepatan_cepat = fuzz.trapmf(kecepatan,
[124, 185, 185, 185])
```

Gambar 10 Fungsi keanggotaan program Tsukamoto

3. Inisiasi dataset

```
# Dataset
dataset = [
[25.6, 96.3],
[23, 93.6],
[28.3, 84.5],
[28.6, 82.5],
[29.4, 78],
[33.7, 56.8],
[38.1, 64],
[35.8, 60.7],
[21.7, 99.9],
[20.6, 99.9],
[32.9, 79.7],
[29.7, 79.1]
]
```

Gambar 11 Inisiasi dataset

4. Penerapan aturan

```
# Rules
rule1 = ctrl.Rule(suhu['dingin'] & kelembaban['kering'],
kecepatan_kipas['lambat'])
rule2 = ctrl.Rule(suhu['dingin'] & kelembaban['normal'],
kecepatan_kipas['lambat'])
rule3 = ctrl.Rule(suhu['dingin'] & kelembaban['basah'],
kecepatan_kipas['lambat'])
rule4 = ctrl.Rule(suhu['hangat'] & kelembaban['kering'],
kecepatan_kipas['sedang'])
rule5 = ctrl.Rule(suhu['hangat'] & kelembaban['normal'],
kecepatan_kipas['sedang'])
rule6 = ctrl.Rule(suhu['hangat'] & kelembaban['basah'],
kecepatan_kipas['cepat'])
rule7 = ctrl.Rule(suhu['panas'] & kelembaban['kering'],
kecepatan_kipas['sedang'])
rule8 = ctrl.Rule(suhu['panas'] & kelembaban['normal'],
kecepatan_kipas['cepat'])
rule9 = ctrl.Rule(suhu['panas'] & kelembaban['basah'],
kecepatan_kipas['cepat'])
```

Gambar 12 Penerapan aturan pada program Mamdani

```
#rule
rule1 = np.fmin(suhu_rendah_degree, kelembaban_kering_degree)
kecepatan_output1 = np.fmin(rule1, kecepatan_lambat)
rule2 = np.fmin(suhu_rendah_degree, kelembaban_normal_degree)
kecepatan_output2 = np.fmin(rule2, kecepatan_lambat)
rule3 = np.fmin(suhu_rendah_degree, kelembaban_basah_degree)
kecepatan_output3 = np.fmin(rule3, kecepatan_lambat)
rule4 = np.fmin(suhu_normal_degree, kelembaban_kering_degree)
kecepatan_output4 = np.fmin(rule4, kecepatan_sedang)
rule5 = np.fmin(suhu_normal_degree, kelembaban_normal_degree)
kecepatan_output5 = np.fmin(rule5, kecepatan_sedang)
rule6 = np.fmin(suhu_normal_degree, kelembaban_basah_degree)
kecepatan_output6 = np.fmin(rule6, kecepatan_cepat)
rule7 = np.fmin(suhu_tinggi_degree, kelembaban_kering_degree)
kecepatan_output7 = np.fmin(rule7, kecepatan_sedang)
rule8 = np.fmin(suhu_tinggi_degree, kelembaban_normal_degree)
kecepatan_output8 = np.fmin(rule8, kecepatan_cepat)
rule9 = np.fmin(suhu_tinggi_degree, kelembaban_basah_degree)
kecepatan_output9 = np.fmin(rule9, kecepatan_cepat)
```

Gambar 13 Penerapan aturan pada program Tsukamoto

5. Implementasi fuzzifikasi

```
suhu['dingin'] = fuzz.trapmf(suhu.universe,
[20, 20, 25, 30])
suhu['hangat'] = fuzz.trimf(suhu.universe,
[25, 30, 35])
suhu['panas'] = fuzz.trapmf(suhu.universe,
[30, 35, 40, 40])

kelembaban['kering'] = fuzz.trapmf(kelembaban.universe,
[0, 0, 25, 50])
kelembaban['normal'] = fuzz.trimf(kelembaban.universe,
[25, 50, 75])
kelembaban['basah'] = fuzz.trapmf(kelembaban.universe,
[50, 75, 100, 100])
```

Gambar 14 Proses fuzzifikasi pada program Mamdani

```
# Melakukan perhitungan fuzzy dan mencetak hasil
kecepatan untuk setiap data
for data in dataset:
    suhu_input = data[0]
    kelembaban_input = data[1]
    # Proses fuzzifikasi
    suhu_rendah_degree = fuzz.interp_membership(suhu,
suhu_rendah, suhu_input)
    suhu_normal_degree = fuzz.interp_membership(suhu,
suhu_normal, suhu_input)
    suhu_tinggi_degree = fuzz.interp_membership(suhu,
suhu_tinggi, suhu_input)

    kelembaban_kering_degree = fuzz.interp_membership(
kelembaban, kelembaban_kering, kelembaban_input)
    kelembaban_normal_degree = fuzz.interp_membership(
kelembaban, kelembaban_normal, kelembaban_input)
    kelembaban_basah_degree = fuzz.interp_membership(
kelembaban, kelembaban_basah, kelembaban_input)
```

Gambar 15 Proses Fuzzifikasi pada program Tsukamoto

6. Inferensi

```
suhu_input, kelembaban_input = data
pengendali.input['suhu'] = suhu_input
pengendali.input['kelembaban'] = kelembaban_input
```

Gambar 16 Proses penginputan inferensi pada program Mamdani

```
# proses inferensi
pengendali_kipas = ctrl.ControlSystem
([rule1, rule2, rule3, rule4, rule5, rule6,
rule7, rule8, rule9])
pengendali = ctrl.ControlSystemSimulation
(pengendali_kipas)
```

Gambar 17 Proses inferensi pada program Mamdani

```
for data in dataset:
    suhu_input = data[0]
    kelembaban_input = data[1]
```

Gambar 18 Proses inferensi pada program Tsukamoto

```
hasil_kecepatan.append
(kecepatan_result)
```

Gambar 19 Proses penyimpanan hasil inferensi pada program Tsukamoto

7. Defuzzifikasi

```
# Process Defuzzifikasi
kecepatan = []
for data in dataset:
    suhu_input, kelembaban_input = data
    pengendali.input['suhu'] = suhu_input
    pengendali.input['kelembaban'] = kelembaban_input

    # memulai simulasi
    pengendali.compute()

    # output kecepatan
    kecepatan.append(pengendali.output
['kecepatan_kipas'])
```

Gambar 19 Proses defuzzifikasi pada program Mamdani

```
# Defuzzifikasi menggunakan metode Tsukamoto
kecepatan_defuzz = fuzz.defuzz(kecepatan,
kecepatan_agg, 'centroid')
kecepatan_result = kecepatan_defuzz

# Menambahkan hasil kecepatan ke dalam
variabel hasil
hasil_kecepatan.append(kecepatan_result)
```

Gambar 20 Proses defuzzifikasi pada program Tsukamoto

8. Penentuan akurasi

```
# Perhitungan akurasi
target_kecepatan = [55, 55, 55, 55, 161.75,
129.77, 165.07, 165.06, 14.76, 12.5, 102.92,
164.56]
akurasi = 100 - (np.mean(np.abs(np.subtract
(target_kecepatan, kecepatan)))) / np.mean
(target_kecepatan) * 100

#menampilkan hasil akurasi
print("Akurasi: {}".format(akurasi))
```

Gambar 21 Proses perhitungan akurasi pada program Mamdani

```
# Menghitung akurasi
target_kecepatan = [55, 55, 55, 55, 161.75, 129.
77, 165.07, 165.06, 14.76, 12.5, 102.92, 164.56]
akurasi = 100 - (np.mean(np.abs(np.subtract
(target_kecepatan, hasil_kecepatan)))) / np.mean
(target_kecepatan) * 100

# Menampilkan akurasi
print("Akurasi: {}".format(akurasi))
```

Gambar 22 Proses perhitungan akurasi pada program Tsukamoto

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Pada Program Mamdani

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan metode mamdani dengan jumlah data sebanyak 12.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Metode Mamdani

Data	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan (rps)
1	25.6	96.3	57.6624815693033
2	23	93.6	48.2222222222222
3	28.3	84.5	96.460103563395
4	28.6	82.5	100.83773509024
5	29.4	78	113.211203341667
6	33.7	56	140.806160206466
7	38.1	64	161.932962962963
8	35.8	60.7	162.058304388422
9	21.7	99.9	48.2222222222222

10	20.6	99.9	48.2222222222222
11	32.8	79.7	133.563062272522
12	29.7	79.1	118.266304564068

B. Pengujian Pada Program Tsukamoto

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan metode tsukamoto dengan jumlah data sebanyak 12.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Metode Tsukamoto

Data	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan (rps)
1	25.6	96.3	57.6624815693033
2	23	93.6	48.2222222222222
3	28.3	84.5	96.460103563395
4	28.6	82.5	100.83773509024
5	29.4	78	113.211203341667
6	33.7	56	140.806160206466
7	38.1	64	161.932962962963
8	35.8	60.7	162.058304388422
9	21.7	99.9	48.2222222222222
10	20.6	99.9	48.2222222222222
11	32.8	79.7	133.563062272522
12	29.7	79.1	118.266304564068

C. Perbandingan Metode

Aturan IF-THEN pada metode Tsukamoto direpresentasikan kedalam suatu fungsi keanggotaan himpunan fuzzy. Maka akan didapatkan output dari hasil inferensi dengan setiap aturan yang telah diberikan sehingga menjadi suatu bentuk nilai yang pasti atau crisp berdasarkan alpha predikat dan hasil akhirnya akan diperoleh rata-rata terbobot. Sedangkan pada metode Mamdani memiliki perbedaan yang terletak pada saat proses defuzzifikasi.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dibandingkan dengan menggunakan metode Mamdani dan Tsukamoto, maka didapatkan hasil bahwa metode Tsukamoto lebih mendekati data yang telah digunakan atau telah disiapkan. Selain itu kedua metode ini juga memiliki selisih nilai keakuratan yaitu sekitar 0,000168 persen, dengan hasil akhir metode Mamdani 73,27737824964979% dan hasil akhir metode Tsukamoto 73,2775468129201% ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Akurasi metode

Metode	Akurasi
Mamdani	73,2773782496497%
Tsukamoto	73,2775468129201%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

FIS atau biasa dikenal dengan Fuzzy Inference System adalah bagian yang penting dalam logika fuzzy. Pemetaan pada logika fuzzy didapatkan oleh beberapa aturan atau rules IF-THEN, berdasarkan pemetaan aturan tersebut, logika fuzzy ini mengambil keputusan dan membedakan pola. Dalam logika fuzzy mempunyai 3 metode yang selalu digunakan, antara lain ialah metode Tsukamoto, Mamdani, serta Sugeno. Perbandingan pada ketiga metode tersebut terletak pada perbandingan konsekuensi peraturan fuzzy, agregasi, serta prosedur defuzzifikasi.

Metode mamdani melibatkan pembentukan himpunan fuzzy, fuzzifikasi, operasi logika fuzzy, implikasi, agregasi, dan defuzzifikasi yang digunakan untuk mengonversi himpunan fuzzy menjadi nilai yang tegas. Sedangkan, metode tsukamoto melibatkan tahapan himpunan fuzzy, fuzzifikasi, pembentukan basis pengetahuan fuzzy, implikasi, dan defuzzifikasi. berbeda dengan metode mamdani, metode tsukamoto menggunakan inferensi yang digunakan untuk menggunakan nilai alpha predikat dalam setiap aturannya, yang selanjutnya akan dihitung untuk menampilkan output yang bernilai tegas atau crisp.

Penerapan metode fuzzy mamdani dan tsukamoto dalam Program Pengendali Kipas Angin, memiliki 2 input yaitu suhu dan kelembaban yang memiliki nilai himpunan yaitu suhu dingin, suhu hangat, suhu panas, kelembaban kering, kelembaban normal, serta kelembaban basah yang akan menghasilkan sebuah output kecepatan yang memiliki nilai himpunan kecepatan lambat, kecepatan sedang, kecepatan cepat.

Pengujian tingkat keakuratan metode mamdani dan tsukamoto memperoleh nilai akurasi sebesar 73,27737824964979% untuk metode Mamdani dan 73,2775468129201% untuk metode Tsukamoto dengan selisih nilai keakuratan sekitar 0,000168 persen.

Maka dapat disimpulkan bahwa, Metode Tsukamoto memiliki tingkat akurasi yang lebih besar daripada metode mamdani pada program pengendali kipas angin berdasarkan suhu dan kelembaban.

B. Saran

1. Dibutuhkan pengambilan data Suhu dan data Kelembaban yang dilakukan secara *realtime* atau pada waktu atau kondisi sebenarnya karena hal ini akan digunakan untuk dapat memastikan sistem untuk memberikan rekomendasi kecepatan kipas angin yang sesuai dengan keadaan sebenarnya.
2. Program ini dapat dikembangkan lagi untuk meningkatkan tingkat keakuratan rekomendasi kecepatan kipas angin menggunakan logika fuzzy dengan data yang lebih akurat dan berkualitas

sehingga dapat membantu untuk menyesuaikan aturan yang ada pada program logika fuzzy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji serta syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat serta rahmat-Nya, kami bisa menuntaskan penugasan jurnal ini. Penugasan Jurnal ini dilakukan guna memenuhi salah satu ketentuan untuk memperoleh validasi nilai dalam mata kuliah Kecerdasan Buatan.

Kami kelompok 6 dari kelas Kecerdasan Buatan A081 ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada diri kami yang menyumbangkan dedikasi serta kontribusi yang luar biasa dalam pengerjaan jurnal dengan judul Program Pengendali Kipas Angin Berdasarkan Suhu dan Kelembaban Menggunakan Logika Fuzzy. Kami juga sangat berterima kasih kepada tim penulis, reviewer, editor, tim SANTIKA, dan seluruh pihak yang ikut serta terlibat dalam proses pengerjaan jurnal Program Pengendali Kipas Angin Berdasarkan Suhu dan Kelembaban Menggunakan Logika Fuzzy.

Kami menyadari jika tanpa dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak, tidak mudah untuk kami menuntaskan penyusunan jurnal ini. Maka dari itu, kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, MT selaku Dosen Pengampu Mata Kuliah Kecerdasan Buatan.
2. Tim SANTIKA yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.
3. Orang Tua kami yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan penugasan ini.

REFERENSI

- [1] O. Rian, Yulanda, Putra and I. Yuda, "Penerapan Alat Kendali Kipas Angin Menggunakan Microcontroller Arduino Mega 2560 dan Sensor DHT22 Berbasis Android," Riau Journal of Computer Science, vol. VI, no. 02, pp. 101-106, 2020.
- [2] A. Muhammad and Z. Masdania, "Perancangan Pengendali Suhu Ruang Kelas di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara," Semnastek UISU, pp. 80-89, 2021.
- [3] Hanifah, "Suhu Ruang Normal dan Ideal Untuk Aktivitas Sehari-hari. Bisa Meningkatkan Kenyamanan!," 99.co, 26 April 2023. [Online]. Available: <https://berita.99.co/suhu-ruangan-normal/>. [Accessed 20 June 2023].
- [4] BKMKG, "Perkiraan Cuaca Surabaya," bmkgo.id, 1 June 2023. [Online]. Available: https://www.bmkgo.id/cuaca/prakiraan-cuaca.bmkgo?kab=Surabaya&Prov=Jawa_Timur&AreaID=501306. [Accessed 20 June 2023].
- [5] M. Yuwelni, Penerapan Prinsip Ergonomi di Ruang Penyimpanan Berkas Rekam Medis, Makassar: Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Panakkukang Makassar, 2020.
- [6] IQAir, "Kualitas Udara di Kota Surabaya," IQAir, 1 June 2023. [Online]. Available: <https://www.iqair.com/id/indonesia/east-java/surabaya>. [Accessed 20 June 2023].
- [7] T. R. Dian and S. Eko, "Kadar Suhu dan Kelembaban di Ruang Produksi Wedang uwuh Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa," Industrial Engineering Journal of The University of Sarjanawiyata Tamansiswa, vol. IV, no. 2, pp. 70-78, 2020.
- [8] P. Indah and R. Muhammad, "Rancang Bangun Pengendali Kipas Angin Berbasis Mikrokontroler Atmega 16 Melalui Aplikasi Android Dengan Bluetooth," Simetris, vol. X, no. 1, pp. 147-160, 2019.

- [9] N. I. F. Yusuf and S. Asep, "Alat Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan Arduino Uno," *Manajemen dan Teknik Informatika*, vol. II, no. 1, pp. 161-171, 2018.
- [10] Trivusi, "Perbedaan Fuzzy Inference System: Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto," *Trivusi*, 09 October 2022. [Online]. Available: <https://www.trivusi.web.id/2022/10/metode-inferensi-fuzzy.html>. [Accessed 20 June 2023].
- [11] Rudito Pujiarso Nugroho, Budi Darma Setiawan, M. Tanzil Furqon, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Menentukan Harga Sewa Hotel (Studi Kasus: Gili Amor Boutique Resort, Dusun Gili Trawangan, Nusa Tenggara Barat)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. III, no. 3, pp. 2581-2588, 2019.
- [12] M. Adib Al Karomi, "Fuzzifikasi Data untuk Normalisasi Atribut dalam Perhitungan Algoritma K-Nearest Neighbour," *Jurnal STMKIK Widya Pratama*, vol. VIII, no. 1, pp. 61-65, 2018.
- [13] Sesar Husen Santosa, Agung Prayudha Hidayat, "Model Penentuan Jumlah Pesanan Pada Aktifitas Supply Chain Telur Ayam Menggunakan Fuzzy Logic," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. XVIII, no. 2, pp. 224-235, 2019.
- [14] Sari, A.P., Suzuki, H., Kitajima, T., Yasuno, T., Prasetya, D.A. and Arifuddin, R. (2022), Short-Term Wind Speed and Direction Forecasting by 3DCNN and Deep Convolutional LSTM. *IEEJ Trans Elec Electron Eng*, 17: 1620-1628.
- [15] Ummi Athiyah, Adela Putri Handayani, Muhammad Yusril Aldean, Novantri Prasetya Putra, Rafian Ramadhan, "Sistem Inferensi Fuzzy : Pengertian, Penerapan, dan Manfaatnya," *Jurnal Of Dinda*, vol. I, no. 2, pp. 73-76, 2021.
- [16] Isnaini Muhandhis, Alven S. Ritonga, M. Harist Murdani, "Implementasi Metode Inferensi Fuzzy Tsukamoto Untuk Memprediksi Curah Hujan Dasar di Sumenep," *Jurnal Ilmiah Educat*, vol. VIII, no. 1, pp. 1-10, 2021.
- [17] Sari, A.P., A. H. Ermanu, A. P. Dwi, A. Rahman and D. P. A. Puput, "Sistem Prediksi Kecepatan dan Arah Angin Menggunakan Bidirectional Long Short-Term Memory," *Seminar Keinsinyuran*, vol. 1, no. 1, pp. 6-16, 2021.