

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENDETEKSI DINI KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN BERDASARKAN FAKTOR IKLIM DAN CUACA DENGAN METODE FUZZY LOGIC

Fahreza Yusril Mahendra^{*}, Aris Triwiyatno dan Yosua Alvin Adi Soetrisno

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: fahrezayusril@gmail.com

Abstrak

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) merupakan permasalahan yang semakin sering terjadi di Indonesia. Karhutla ini menimbulkan kerugian dari berbagai aspek, seperti aspek ekologi, ekonomi, dan sosial. Karhutla yang terjadi secara meluas sebenarnya bisa diatasi dan dicegah bila terdapat suatu sistem perancangan peralatan yang dapat mendeteksi secara dini. Pada tugas akhir ini, dirancang suatu *prototype* sistem untuk mendeteksi dini bencana karhutla secara *real time* sehingga dapat menjadi peringatan awal yang mempertimbangkan 4 parameter iklim dan cuaca dengan menggunakan 3 sensor, yaitu sensor DHT11 untuk mengukur parameter suhu dan parameter kelembaban udara, sensor Anemometer untuk mengukur parameter kecepatan angin dan sensor *Raindrops Module* untuk mengukur parameter curah hujan. Selain itu juga dilengkapi dengan *Solar Panel* sebagai sumber daya listrik berbasis IoT (*Internet of Things*) yang dapat mendeteksi dan memantau tingkat kerawanan terjadinya bencana karhutla melalui website. Sistem ini dilengkapi juga dengan proses pengambilan keputusan berbasis *Fuzzy Logic* yang memberikan peringatan dini berdasarkan hasil pembacaan 4 parameter yang terukur. Keluaran dari *Fuzzy Logic* ini adalah nilai skor antara 0 - 1 yang merepresentasikan status “Aman”, “Siaga” dan “Bahaya”. Diharapkan dari perancangan *prototype* ini akan dapat bekerja dengan baik pada cakupan wilayah pengamatan sehingga dapat dikembangkan dan diaplikasikan sebagai alat pendeteksi dini sistem bencana karhutla.

Kata kunci: Kebakaran hutan dan lahan, Fuzzy Logic, Internet of Things

Abstract

Forest and land fire is a major problem happening in Indonesia. Forest and land fire cause such loss in many aspects such as ecology, economy, and social aspect. This could be prevented if there is a detector designed to detect forest and land fire early. Therefore, in this thesis, a prototype system is designed to detect the fire in real-time so that this system could be an early warning by considering four climate and weather parameters and using three sensors which are DHT11 sensor, Anemometer sensor, and Raindrops Module sensor. This tool is also equipped with Solar Panels as electrical power source and builds upon IoT (Internet of Things) which can detect and monitor the forest and land fire vulnerability through the website. This system is also equipped with a Fuzzy Logic-based decision-making process which provides the early warning based on the result of four measured parameters. The output of Fuzzy Logic is a score between 0-1 that represents the “Safe”, “Alert”, and “Danger” status. The writer hopes that this prototype is beneficial in the observation area scope so that this tool can be developed and applied directly as an early detection tool for the forest and land fire system.

Keywords: Forest and land fire, Fuzzy Logic, Internet of Things

1. Pendahuluan

Hutan adalah suatu wilayah yang memiliki banyak tumbuh-tumbuhan lebat yang berisi antara lain pohon, semak, paku-pakuan, rumput, jamur dan lain sebagainya serta menempati daerah yang luas. Hutan berfungsi sebagai penampung Karbon dioksida (*Carbon dioxide*), habitat hewan, modulator arus hidrologika, dan pelestari tanah serta merupakan salah satu aspek biosfer bumi yang paling penting [1]. Hutan adalah bentuk kehidupan yang tersebar

di seluruh dunia. Ditemukan hutan baik di daerah tropis maupun daerah beriklim dingin, di dataran rendah maupun di pegunungan, di pulau kecil maupun di benua besar [2]. Kebakaran hutan dan lahan merupakan permasalahan yang semakin sering terjadi di Indonesia. Kebakaran hutan dan lahan ini menimbulkan berbagai dampak buruk terhadap fungsi-fungsi hutan dan lahan yang kemudian meningkatkan kerugian dari berbagai aspek, seperti aspek ekologi, ekonomi, dan sosial.

Dampak yang ditimbulkan di antaranya dapat berupa terganggunya kesehatan masyarakat sekitar, menurunnya keanekaragaman hayati, merosotnya nilai ekonomi hutan, dan berubahnya iklim mikro hingga global. Bahkan, sejak dua dekade terakhir, bencana kebakaran hutan dan lahan bukan hanya merupakan bencana lokal atau nasional saja, melainkan telah menjadi bencana internasional. Asap hasil kebakaran hutan meluas ke beberapa negara di kawasan Asia Tenggara, seperti Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam [3].

Sampai saat ini penyebab utama dari kebakaran hutan dan lahan belum terjawab secara rinci, tuntas dan terstruktur. Beberapa pihak berpendapat bahwa kebakaran hutan dan lahan terjadi disebabkan oleh aktivitas pertanian, perkebunan ataupun kehutanan berskala kecil oleh masyarakat lokal dan juga aktivitas perkebunan dan kehutanan berskala besar oleh para pengelola HPH/HTI.

Kebakaran hutan yang terjadi secara meluas sebenarnya bisa diatasi dan dicegah bila terdapat suatu sistem perancangan peralatan yang dapat mendeteksi secara dini terjadinya kebakaran hutan. Dengan peralatan tersebut, titik terjadinya kebakaran akan segera dapat diketahui sehingga dapat segera dilakukan upaya pemadaman sebelum api menyebar ke wilayah yang lebih luas [4][5].

Dalam penelitian ini, dirancang suatu purwarupa sistem untuk mendeteksi dini kebakaran hutan dan lahan (karhutla) secara real time sehingga dapat menjadi peringatan awal yang mempertimbangkan 4 parameter iklim dengan menggunakan 3 sensor, yaitu Sensor DHT11 untuk mengukur parameter suhu dan parameter kelembaban udara, sensor Anemometer untuk mengukur parameter kecepatan angin, sensor *Raindrops Module* untuk mengukur parameter curah hujan.

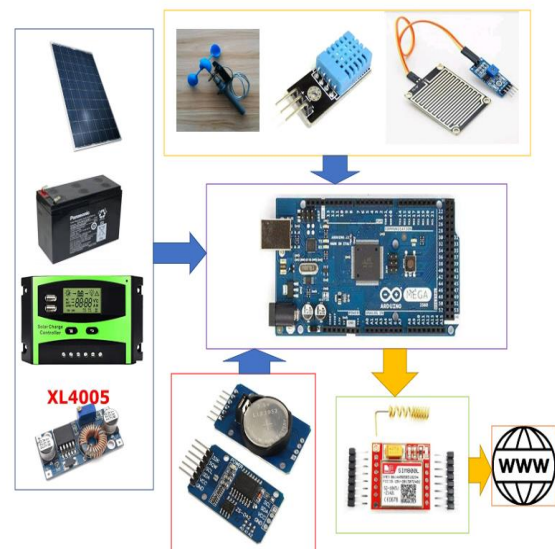
Selain itu juga dilengkapi dengan *Solar Panel* sebagai sumber daya listrik alat tersebut. Berbasis IoT (*Internet of Things*) yang dapat mendeteksi dan memantau tingkat kerawanan terjadinya kebakaran hutan melalui *Website*. Sistem ini dilengkapi juga dengan proses pengambilan keputusan berbasis *Fuzzy Logic* yang memberikan peringatan dini berdasarkan hasil pembacaan ke-4 parameter yang diukur. Keluaran dari *Fuzzy Logic* ini adalah nilai skor antara 0 - 1 yang merepresentasikan status "Aman", "Siaga", dan "Bahaya" [6].

Diharapkan dari *prototype* sistem yang dirancang ini akan dapat bekerja dengan baik pada cakupan wilayah pengamatan sehingga dapat dikembangkan dan diaplikasikan secara langsung sebagai alat pendeteksi dini sistem kebakaran hutan dan lahan (karhutla).

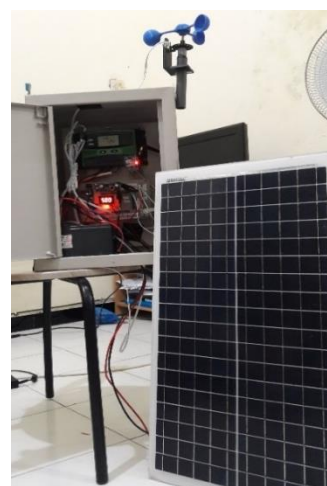
2. Metode

Pada penelitian *prototype* sistem pendeteksi dini kebakaran hutan dan lahan berdasarkan faktor-faktor iklim dengan

metode *fuzzy logic* ini memiliki beberapa komponen penting dalam perancangannya. Perancangan *prototype* sistem pendeteksi dini kebakaran hutan dan lahan berdasarkan faktor-faktor iklim dengan metode *fuzzy logic* terbagi menjadi 2 bagian, yaitu: perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan metode *fuzzy logic* untuk mengambil keputusan yang mempertimbangkan 4 parameter iklim dengan menggunakan 3 sensor. yaitu Sensor DHT11 untuk mengukur parameter suhu dan parameter kelembaban udara, sensor Anemometer untuk mengukur parameter kecepatan angin, sensor *Raindrops Module* untuk mengukur parameter curah hujan



Gambar 1. Arsitektur Keseluruhan Alat



Gambar 2. Prototype Sistem Pedeteksi Dini Kebakaran Hutan dan Lahan

2.1. Perancangan Hardware

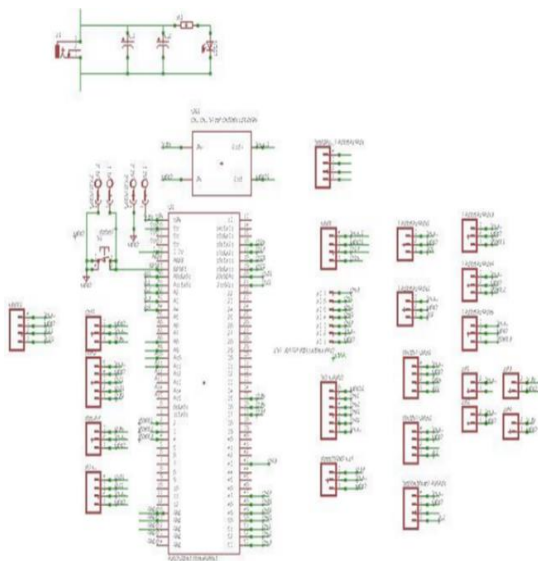
Perancangan perangkat keras (*Hardware*) pada penelitian ini menggunakan komponen-komponen penyusun sebagai berikut: 1. Arduino Mega 2560, 2. Sensor Anemometer, 3.

Sensor DHT11, 4. Sensor Raindrops Module, 5. RTC DS1307, 6. SIM800L V2, 7. Micro SD, 8. Solar Panel, 9. Baterai, 10. Buck Converter, 11. Solar Cell Controller. Mikrokontroler ATmega 2560 digunakan untuk membaca Sensor DHT11, Sensor Anemometer, dan Sensor Raindrops Module, serta untuk mengolah data hasil pembacaan sensor. Secara umum pembagian pin pada Mikrokontroler ATmega 2560 dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pin Mapping pada Mikrokontroler ATmega 2560

Pada pin 4 PWM digunakan untuk sensor DHT11, pada pin 2 PWM digunakan untuk sensor Anemometer, untuk Raindrops Module menggunakan pin A1. RTC atau Real Time Clock menggunakan SDA pin D20 dan SCL pin D21, untuk SIM 800L menggunakan RX pin 13 PWM dan TX pin 12 PWM. Lalu untuk pin VIN, GND, VCC1, dan GND1 digunakan untuk DC-DC Step Down Converter. Untuk SD CARD menggunakan pin GND2, D51, D52, D50, D53, dan VCC. Dapat dilihat pada gambar berikut.



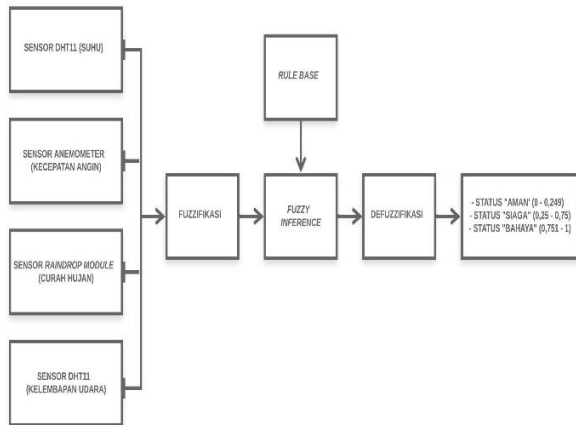
Gambar 4. Pin Mapping pada Mikrokontroler ATmega 2560

Keterangan :

1. Arduino Mega sebagai pusat pengendalian dan pengolah data pada *prototype* sensor pedeteksi dini kebakaran hutan dan lahan ini yang dapat diprogram dengan Arduino IDE.
2. Sensor DHT11, berfungsi untuk mengukur kelembaban dan suhu udara. Sensor DHT11 memiliki 4 buah pin yaitu VCC, Data, NC, dan GND. Pin VCC sensor DHT11 dihubungkan dengan sumber tegangan 5V.
3. Sensor Raindrops Module, berfungsi untuk mengukur intensitas hujan. Sensor Raindrops Module memiliki 3 buah pin yaitu VCC, Data, dan GND. Pin VCC sensor Raindrops Module dihubungkan dengan sumber tegangan 5V.
4. Sensor Anemometer, berfungsi untuk mengukur kecepatan angin. Sensor Anemometer memiliki 3 buah pin yaitu VCC, Data, dan GND. Pin VCC sensor Anemometer dihubungkan dengan sumber tegangan 5V.
5. Modul SIM800L adalah modul GSM berfungsi untuk mengirimkan data sensor ke *website* menggunakan komunikasi serial. Arduino mega memiliki 3 fasilitas komunikasi serial.
6. Modul SD Card berfungsi sebagai penyimpan dan membaca data logger dari sistem.
7. Modul RTC (Real Time Clock) DS-1307 adalah modul yang berfungsi sebagai jam elektronik yang menghitung waktu sistem dan menjaga data waktu tersebut secara *real time*.
8. Catu daya berasal dari panel surya yang terhubung ke aki dan solar power controller dan Regulator XL4005 adalah penurunan tegangan dari 12V ke 5V [7].

2.2. Perancangan Metode Logika Fuzzy

Perancangan sistem pendeteksi dini kebakaran hutan dan lahan pada tugas akhir ini menggunakan metode logika fuzzy sugeno orde nol. Perancangan metode logika fuzzy ini menggunakan 4 parameter masukan yaitu suhu, kecepatan angin, curah hujan, dan kelembaban udara yang didapat dari hasil pembacaan 3 sensor yaitu sensor DHT11, sensor Anemometer, dan sensor Raindrops Module. Nilai parameter masukan yang sudah diperoleh akan ditentukan fungsi keanggotaannya, sehingga hasil keluarannya dapat diperoleh berdasarkan aturan fuzzy yang sudah ditentukan. Hasil keluaran tersebut akan disesuaikan berdasarkan rentang nilai dari masing-masing kondisi, yaitu “Aman”, “Siaga”, dan “Bahaya”, dimana saat kondisi aman memiliki rentang nilai 0 sampai 0,249; saat kondisi siaga memiliki rentang nilai 0,25 sampai 0,75; dan saat kondisi bahaya memiliki rentang nilai 0,751 sampai 1. Pada perancangan metode logika fuzzy ini terbagi menjadi 3 tahapan yaitu fuzzifikasi, rule base, dan defuzzifikasi. Berdasarkan penjelasan tersebut, proses penalaran logika fuzzy pada perancangan sistem ini dapat dinyatakan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 5.

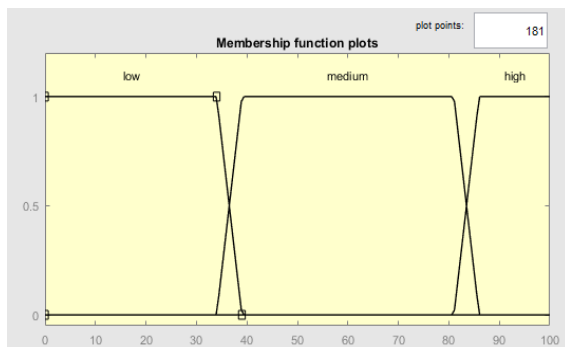


Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Metode Logika Fuzzy pada Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan dan Lahan

2.2.1. Perancangan Himpunan Fuzzy

Pada tahapan fuzzifikasi terdapat *membership function* yang dapat dikelompokkan dalam sebuah himpunan keanggotaan yang telah ditentukan. Pada masing-masing *membership function* dari keempat parameter terdapat 3 kondisi yaitu “low”, “medium”, dan “high”. Berikut ini merupakan perancangan *membership function* dari parameter suhu, kecepatan angin, curah hujan, dan kelembapan udara.

- Perancangan *Membership Function* dari Parameter Suhu



Gambar 6. Membership Function Suhu

Gambar 6 merupakan perancangan *membership function* dari parameter suhu. Ketika kondisinya “low” maka rentang nilainya dibawah 36,5°C. Ketika kondisinya “medium” maka rentang nilainya 36,5°C sampai dengan 83,5°C. Sedangkan ketika kondisinya “high” maka rentang nilainya diatas 83,5°C. Berdasarkan perancangan *membership function* tersebut, pada setiap kondisi suhu menggunakan kurva trapesium yang bertujuan agar pada rentang nilai tertentu diperoleh hasil fungsi keanggotaan yang bernilai 1, sehingga hal tersebut dapat lebih

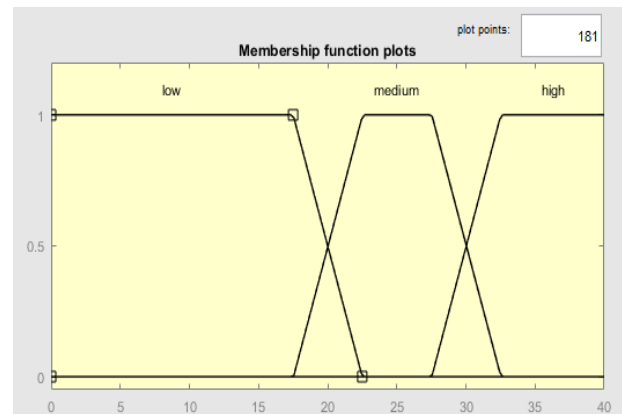
menyederhanakan dalam proses penalaran logika fuzzy. Rentang nilai pada setiap kondisi suhu didapatkan dari referensi yang bersumber pada klasifikasi *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) [8][9]. Perancangan *membership function* dari parameter suhu saat kondisi “low”, “medium”, dan “high” dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\mu(x)_{LOW} = \begin{cases} 1, & x \leq 34 \\ \frac{x-34}{39-34}, & 34 < x < 39 \\ 0, & x \geq 39 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x)_{MEDIUM} = \begin{cases} 1, & 39 \leq x \leq 81 \\ \frac{39-x}{39-34}, & 34 < x < 39 \\ \frac{x-81}{86-81}, & 81 < x < 86 \\ 0, & x \leq 34 \text{ atau } x \geq 86 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu(x)_{HIGH} = \begin{cases} 1, & x \geq 86 \\ \frac{86-x}{86-81}, & 81 < x < 86 \\ 0, & x \leq 81 \end{cases} \quad (3)$$

- Perancangan *Membership Function* dari Parameter Kecepatan Angin



Gambar 7. Membership Function Kecepatan Angin

Gambar 7 merupakan perancangan *membership function* dari parameter kecepatan angin. Ketika kondisinya “low” maka rentang nilainya dibawah 20,03 km/jam. Ketika kondisinya “medium” maka rentang nilainya 20,03 sampai dengan 30,03 km/jam. Sedangkan ketika kondisinya “high” maka rentang nilainya diatas 30,03 km/jam. Berdasarkan perancangan *membership function* tersebut, pada setiap kondisi kecepatan angin menggunakan kurva trapesium yang bertujuan agar pada rentang nilai tertentu diperoleh hasil fungsi keanggotaan yang bernilai 1, sehingga hal tersebut dapat lebih menyederhanakan dalam proses penalaran logika fuzzy. Rentang nilai pada setiap kondisi kecepatan angin didapatkan dari referensi yang bersumber pada klasifikasi *Fire Weather Index* (FWI) [10][11]. Perancangan *membership function* dari parameter

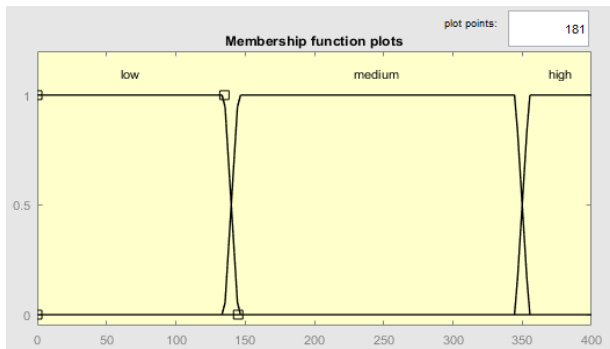
kecepatan angin saat kondisi “low”, “medium”, dan “high” dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\mu(x)_{LOW} = \begin{cases} 1, & x \leq 17,53 \\ \frac{x-17,53}{22,53-17,53}, & 17,53 < x < 22,53 \\ 0, & x \geq 22,53 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu(x)_{MEDIUM} = \begin{cases} 1, & 22,53 \leq x \leq 27,53 \\ \frac{22,53-x}{22,53-17,53}, & 17,53 < x < 22,53 \\ \frac{x-27,53}{32,53-27,53}, & 27,53 < x < 32,53 \\ 0, & x \leq 17,53 \text{ atau } x \geq 32,53 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu(x)_{HIGH} = \begin{cases} 1, & x \geq 32,53 \\ \frac{32,53-x}{32,53-27,53}, & 27,53 < x < 32,53 \\ 0, & x \leq 27,53 \end{cases} \quad (6)$$

- Perancangan *Membership Function* dari Parameter Curah Hujan



Gambar 8. *Membership Function* Curah Hujan

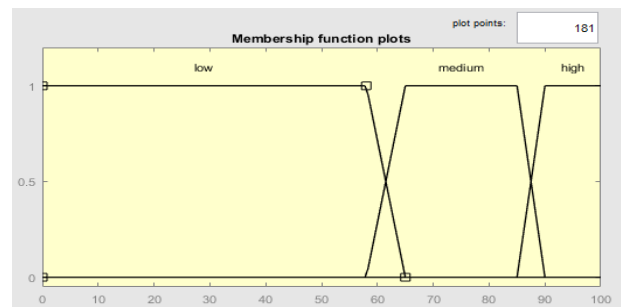
Gambar 8 merupakan perancangan *membership function* dari parameter curah hujan. Ketika kondisinya “low” maka rentang nilainya dibawah 140 mm. Ketika kondisinya “medium” maka rentang nilainya 140 sampai dengan 350 mm. Sedangkan ketika kondisinya “high” maka rentang nilainya diatas 350 mm. Berdasarkan perancangan *membership function* tersebut, pada setiap kondisi curah hujan menggunakan kurva trapesium yang bertujuan agar pada rentang nilai tertentu diperoleh hasil fungsi keanggotaan yang bernilai 1, sehingga hal tersebut dapat lebih menyederhanakan dalam proses penalaran logika *fuzzy*. Rentang nilai pada setiap kondisi curah hujan didapatkan dari referensi yang bersumber pada klasifikasi *Drought Code* (DC) [12][13]. Perancangan *membership function* dari parameter curah hujan saat kondisi “low”, “medium”, dan “high” dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\mu(x)_{LOW} = \begin{cases} 1, & x \leq 135 \\ \frac{x-135}{145-135}, & 135 < x < 145 \\ 0, & x \geq 145 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu(x)_{MEDIUM} = \begin{cases} 1, & 145 \leq x \leq 345 \\ \frac{145-x}{145-135}, & 135 < x < 145 \\ \frac{x-345}{355-345}, & 345 < x < 355 \\ 0, & x \leq 135 \text{ atau } x \geq 355 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu(x)_{HIGH} = \begin{cases} 1, & x \geq 355 \\ \frac{355-x}{355-345}, & 345 < x < 355 \\ 0, & x \leq 345 \end{cases} \quad (9)$$

- Perancangan *Membership Function* dari Parameter Kelembapan Udara



Gambar 9. *Membership Function* Kelembapan Udara

Gambar 9 merupakan perancangan *membership function* dari parameter kelembapan udara. Ketika kondisinya “low” maka rentang nilainya dibawah 61,5%. Ketika kondisinya “medium” maka rentang nilainya 61,5% sampai dengan 87,5%. Sedangkan ketika kondisinya “high” maka rentang nilainya diatas 87,5%. Berdasarkan perancangan *membership function* tersebut, pada setiap kondisi kelembapan udara menggunakan kurva trapesium yang bertujuan agar pada rentang nilai tertentu diperoleh hasil fungsi keanggotaan yang bernilai 1, sehingga hal tersebut dapat lebih menyederhanakan dalam proses penalaran logika *fuzzy*. Rentang nilai pada setiap kondisi kelembapan udara didapatkan dari referensi yang bersumber pada klasifikasi *Duff Moisture Code* (DMC) [14][15]. Perancangan *membership function* dari parameter kelembapan udara saat kondisi “low”, “medium”, dan “high” dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\mu(x)_{LOW} = \begin{cases} 1, & x \leq 58 \\ \frac{x-58}{65-58}, & 58 < x < 65 \\ 0, & x \geq 65 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu(x)_{MEDIUM} = \begin{cases} 1, & 65 \leq x \leq 85 \\ \frac{65-x}{65-58}, & 58 < x < 65 \\ \frac{x-81}{86-81}, & 85 < x < 90 \\ 0, & x \leq 58 \text{ atau } x \geq 90 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu(x)_{HIGH} = \begin{cases} 1, & x \geq 90 \\ \frac{90-x}{90-85}, & 85 < x < 90 \\ 0, & x \leq 85 \end{cases} \quad (12)$$

2.2.2. Perancangan Aturan Fuzzy

Pada tahapan aturan fuzzy, *membership function* parameter masukan yang sudah diperoleh akan ditentukan kondisi keluarannya berdasarkan aturan fuzzy yang sudah ditentukan. Karena menggunakan metode fuzzy logic sugeno dengan tipe keluaran konstan, maka terdapat 3 kondisi keluaran yaitu “Aman”, “Siaga”, dan “Bahaya” dengan nilai singleton pada masing-masing kondisi, yaitu $Z_{Aman} = 0$; $Z_{Siaga} = 0,5$; dan $Z_{Bahaya} = 1$. Berdasarkan perancangan himpunan fuzzy, terdapat 4 parameter masukan yaitu suhu, kecepatan angin, curah hujan, dan kelembapan udara, dimana dari masing-masing parameter masukan terdapat 3 kondisi yaitu “low”, “medium”, dan “high”. Sehingga diperoleh 81 aturan fuzzy yang dapat didefinisikan dalam *if-then rule* sebagai berikut.

1. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
2. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
3. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
4. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
5. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
6. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
7. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
8. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
9. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
10. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
11. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
12. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
13. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
14. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
15. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
16. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
17. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
18. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
19. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
20. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
21. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
22. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
23. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
24. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
25. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
26. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
27. IF (SUHU IS **LOW**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
28. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{SIAGA}).
29. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{SIAGA}).
30. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND

- (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
31. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
32. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
33. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
34. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
35. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
36. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
37. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
38. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
39. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
40. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
41. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
42. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
43. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
44. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
45. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
46. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
47. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
48. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
49. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
50. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
51. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
52. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
53. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
54. IF (SUHU IS **MEDIUM**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
55. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
56. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
57. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
58. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
59. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
60. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{SIAGA}**).
61. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS **Z_{AMAN}**).
62. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).
63. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **LOW**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS **Z_{BAHAYA}**).

64. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
65. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
66. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
67. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
68. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
69. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{SIAGA}).
70. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
71. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
72. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **MEDIUM**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
73. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
74. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
75. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **LOW**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{BAHAYA}).
76. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{SIAGA}).
77. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
78. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **MEDIUM**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
79. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **LOW**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).

80. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **MEDIUM**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).
81. IF (SUHU IS **HIGH**) AND (KECEPATAN ANGIN IS **HIGH**) AND (CURAH HUJAN IS **HIGH**) AND (KELEMBAPAN UDARA IS **HIGH**) THEN (OUTPUT IS Z_{AMAN}).

2.2.3. Perancangan Keluaran Fuzzy

Defuzzifikasi merupakan tahapan akhir dalam perancangan metode *fuzzy logic*. Nilai defuzzifikasi dapat diperoleh dengan menggunakan metode *weighted average*. Setelah nilai defuzzifikasi diperoleh, maka nilai tersebut akan disesuaikan berdasarkan rentang nilai masing-masing kondisi keluaran. Ketika kondisi aman maka rentang nilai defuzzifikasinya adalah 0 sampai dengan 0,249. Ketika kondisi siaga maka rentang nilai defuzzifikasinya 0,25 sampai dengan 0,75. Sedangkan ketika kondisi bahaya maka rentang nilai defuzzifikasinya 0,751 sampai dengan 1. Nilai *singleton* dan rentang nilai defuzzifikasi pada masing-masing kondisi keluaran didapat dari percobaan *trial and error* yang sudah disesuaikan berdasarkan rentang nilai dari masing-masing *membership function* parameter masukan. Berdasarkan perancangan keluaran *fuzzy logic*, hasil defuzzifikasi dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Hasil Defuzzifikasi} = \frac{(Z_{Bahaya} \times \sum \mu_{Bahaya}) + (Z_{Siaga} \times \sum \mu_{Siaga}) + (Z_{Aman} \times \sum \mu_{Aman})}{\sum \mu_{Bahaya} + \sum \mu_{Siaga} + \sum \mu_{Aman}} \quad (13)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Tujuan dari pengujian dan analisis adalah untuk mengetahui apakah metode *fuzzy logic* yang diterapkan pada sistem berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan berfungsi dengan baik. Pengujian sistem dilakukan pada setiap kondisi secara terpisah.

3.1. Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Aman

Pengujian sistem dengan metode *fuzzy logic* saat kondisi aman bertujuan untuk mengetahui apakah metode *fuzzy logic* yang diterapkan pada sistem sudah sesuai dengan *rules base* saat kondisi aman. Data pengujian sistem yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa ketika nilai suhu 34,41°C, nilai kecepatan angin 12,27 km/jam, nilai curah hujan 1,38 mm, dan nilai kelembapan udara 65,38% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,041. Sedangkan ketika nilai suhu 36,47°C, nilai kecepatan angin 32,65 km/jam, nilai curah hujan 370,84 mm, dan nilai kelembapan udara 97,83% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,247. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa semua nilai defuzzifikasi yang diperoleh dari hasil pengujian sistem pada Tabel 1 sudah sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi aman yaitu 0 sampai dengan 0,249.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Aman (0 – 0,249)

No	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (km/jam)	Curah Hujan (mm)	Kelembapan Udara (%)	Hasil Defuzzifikasi
1	34,41	12,27	1,38	65,38	0,041
2	34,74	12,58	110,93	90,14	0,074
3	35,17	22,74	83,62	81,97	0,117
4	35,31	26,52	56,47	90,43	0,131
5	35,42	26,43	137,81	93,28	0,181
6	35,48	24,78	364,76	96,48	0,148
7	35,61	36,95	55,72	70,35	0,161
8	36,36	33,02	132,85	90,21	0,236
9	36,19	37,46	139,96	91,46	0,233
10	36,47	32,65	370,84	97,83	0,247

3.2. Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Siaga

Pengujian sistem dengan metode *fuzzy logic* saat kondisi siaga bertujuan untuk mengetahui apakah metode *fuzzy logic* yang diterapkan pada sistem sudah sesuai dengan *rules base* saat kondisi siaga. Data pengujian sistem yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Siaga (0,25 – 0,75)

No	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (km/jam)	Curah Hujan (mm)	Kelembapan Udara (%)	Hasil Defuzzifikasi
1	37,38	13,35	67,26	46,93	0,338
2	37,14	13,42	67,38	66,57	0,288
3	37,97	22,64	68,22	48,97	0,397

Tabel 3. Lanjutan

No	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (km/jam)	Curah Hujan (mm)	Kelembapan Udara (%)	Hasil Defuzzifikasi
4	38,43	22,75	67,83	69,53	0,443
5	38,28	23,17	157,36	70,82	0,428
6	38,84	23,29	157,71	91,36	0,484
7	38,35	35,32	86,31	49,37	0,435
8	38,21	35,47	87,14	81,24	0,421
9	38,83	36,08	258,79	83,74	0,483
10	39,46	36,39	259,53	92,41	0,500

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dapat diketahui bahwa ketika nilai suhu 37,38°C, nilai kecepatan angin 13,35 km/jam, nilai curah hujan 67,26 mm, dan nilai kelembapan udara 46,93% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,338. Sedangkan ketika nilai suhu 39,46°C, nilai kecepatan angin 36,39 km/jam, nilai curah hujan 259,53 mm, dan nilai kelembapan udara 92,41% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,5. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua nilai defuzzifikasi yang diperoleh dari hasil pengujian sistem pada Tabel 2 dan

Tabel 3 sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi siaga yaitu 0,25 sampai 0,75.

3.3. Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Bahaya

Pengujian sistem dengan metode *fuzzy logic* saat kondisi bahaya bertujuan untuk mengetahui apakah metode *fuzzy logic* yang diterapkan pada sistem sudah sesuai dengan *rules base* saat kondisi bahaya. Data pengujian sistem yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem dengan Metode Fuzzy Logic Saat Kondisi Bahaya (0,751 – 1)

No	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (km/jam)	Curah Hujan (mm)	Kelembapan Udara (%)	Hasil Defuzzifikasi
1	84,27	5,36	32,44	57,46	0,827
2	84,58	5,41	32,52	70,25	0,858
3	84,74	5,87	33,16	92,37	0,874
4	85,52	6,32	312,32	56,31	0,952
5	85,43	6,41	312,79	71,66	0,943
6	85,78	23,14	34,62	39,49	0,978
7	85,95	23,47	34,73	71,32	0,998
8	86,02	23,94	34,51	92,28	1,000
9	85,46	24,27	322,48	38,27	0,946
10	85,65	24,58	323,15	72,34	0,965

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa ketika nilai suhu 84,27°C, nilai kecepatan angin 5,36 km/jam, nilai curah hujan 32,44 mm, dan nilai kelembapan udara 57,46% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,827. Sedangkan ketika nilai suhu 85,65°C, nilai kecepatan angin 24,58 km/jam, nilai curah hujan 323,15 mm, dan nilai kelembapan udara 72,34% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,965. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua nilai defuzzifikasi yang diperoleh dari hasil pengujian sistem pada Tabel 4 sudah sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi bahaya yaitu 0,751 sampai dengan 1.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil perancangan dan pengujian yang sebelumnya telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pengujian sistem saat kondisi aman, ketika diperoleh nilai suhu 36,47°C, nilai kecepatan angin 32,65 km/jam, nilai curah hujan 370,84 mm, dan nilai kelembapan udara 97,83% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,247. Sehingga hal tersebut sudah sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi aman yaitu 0 sampai dengan 0,249. Berdasarkan pengujian sistem saat kondisi siaga, ketika diperoleh nilai suhu 39,46°C, nilai kecepatan angin 36,39 km/jam, nilai curah hujan 259,53 mm, dan nilai kelembapan udara 92,41% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,5. Sehingga hal tersebut sudah sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi siaga yaitu 0,25 sampai dengan 0,75. Berdasarkan pengujian sistem saat kondisi bahaya, ketika diperoleh nilai suhu 85,65°C, nilai kecepatan angin 24,58

km/jam, nilai curah hujan 323,15 mm, dan nilai kelembapan udara 72,34% maka nilai defuzzifikasi yang diperoleh adalah 0,965. Sehingga hal tersebut sudah sesuai dengan rentang nilai defuzzifikasi saat kondisi bahaya yaitu 0,751 sampai dengan 1.

Referensi

- [1]. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, "Indonesia's Disaster Data Information," 2018. [Online]. Available: <http://dibbi.bpn.go.id/dibi/>.
- [2]. Ruchiat, Yayat., "Penyebab dan Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan Bahan Makalah Lokakarya Perencanaan Proyek Community Development Through Rehabilitation of Imperata Grasslands Using Trees: A Model Approach Growing Vitex Pubescens for Charcoal Production in Kalimantan Indonesia Pontianak," 23 Februari 2001.
- [3]. Subhan Apyandi, "Rancang Bangun Sistem Detektor Kebakaran Via Handphone Berbasis Mikrokontroler," Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Program Studi Teknik Elektro. Pontianak, 2013.
- [4]. Dani Sasmoko, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IOT dan SMS Gateway Menggunakan Arduino.," Jurnal Coding Sistem Komputer Untan Volume 05, No.3, hal. 1-11,2017.
- [5]. Rifan, "Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya," Jurnal EECCIS, vol. 6, no.1,pp.44-48, Jun. 2012.
- [6]. Thoha, A.S. Penggunaan Penginderaan Jauh Untuk Deteksi Kebakaran Gambut di Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau. Jurnal Ilmu Kehutanan. Vol. 2, No. 2, hh 53-58., 2006.
- [7]. Yogiarto, "Configuration Hybrid Solar System (PV), Wind Turbine, And Dieseld,"ICPERE (International Conference Power Engineering and Renewable Energy), Diakses tanggal 14 januari 2014.
- [8]. Sonjaya, I. 2008. Indeks Cuaca Kebakaran. <https://pawitra1.wordpress.com/?s=kebakaran>.Diakses pada tanggal 19 April 2016.
- [9]. Parwati, Zubaidah A., Priyatna M., Vetrta Y., D.S. Kusumaningayu, P.M. Lintang, Ningrum W., Pribadi U.A. Informasi Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan/Lahan dari Data Satelit. Jakarta : Bidang Pengembangan Bank Data Penginderaan Jauh Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN, 2012.
- [10]. Arsadya, T.D., Prasetyo, Y., Haniah. Analisis Sebaran Dan Perhitungan Hotspot Menggunakan Citra Satelit NOAA/AVHRR dan Aqua Modis Berbasis Algoritma Kanal Termal. Semarang : Jurnal Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, 2015.
- [11]. Adinugroho, W.C., I N.N. Suryadiputra, Bambang Hero Saharjo dan Labueni Siboro. Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut. Proyek Climate Change, Forestand Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia, 2005.
- [12]. Suciarti,. Sistem Informasi Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan dan Lahan Dengan Menggunakan Fire Weather Index (FWI) dan SIG Arcview. Pontianak : Universitas Tanjungpura, 2013.
- [13]. Vetrta, Y., Prasasti, I., Febrianti, N., Ningrum, W. Analisis Sistem Peringkat Bahaya Kebakaran Untuk Deskripsi Kejadian Kebakaran Hutan/Lahan di Provinsi Kalimantan Tengah. Jakarta : Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, 2012.
- [14]. Kurniati, I. Studi Penerapan Wireless Sensor Network untuk Antisipasi Kebakaran Lahan pada Taman Nasional Tesso Nilo dengan Pertimbangan Efisiensi Energi. Skripsi. Universitas Riau. Pekanbaru, 2016.
- [15]. Asif, O. Hossain, B. Hasan, M. Rahman, M.T. & Chowdhury, M.E.H. Fire Detectors Review and Design of an Automated, Quick Responsive Fire Alarm System Based on SMS. J. Communications, Network and System Sciences. Vol. 7, hh. 386-395, 2014.