



Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan Berbasis Logika Fuzzy dengan Integrasi Telegram

I'zaaz Irfanianingrum, Ali Rizal Chaidir*, Sumardi, Gamma Aditya Rahardi, Dedy Wahyu Herdiyanto

Jurusan Teknisk Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Jember

Jember, Indonesia

*ali.rizal@unej.ac.id

Abstract— The benefits that forests offer to all living things are essential and inexhaustible. However, the high rates of deforestation and degradation raise severe worries about the state of the forests today. The most significant cause of disruption to the forest ecosystem nowadays is fire, which has serious adverse effects on the ecology and the economy. To address this, managing forest fires quickly is necessary to stop their spread. The delay in learning about fire incidents, mainly due to poor network or internet coverage in forested areas and the absence of efficient alerts to forest rangers, presents a significant obstacle to this response. We have developed an early forest fire detection technique to address this problem and quicken disaster responses. This device uses fuzzy logic to determine the amount of fire hazard, turns on LED indicators and buzzers, and delivers notifications via a Telegram bot application. This tool successfully finds safe situations with a defuzzification value of 0 – 20, alert 1 with a value of 20 – 40, alert 2 with a value of 40 – 60, caution with a value of 60 – 80, and high alert with a value of 80 – 100 based on the set design and rule base. Forest rangers can move more quickly because the technology also efficiently distributes messages and indicators through the Telegram bot based on the recognized danger levels.

Abstrak— Hutan adalah sumber daya alam tak terbatas yang memiliki manfaat esensial bagi kehidupan makhluk hidup. Meskipun demikian, kondisi hutan saat ini menimbulkan keprihatinan mendalam akibat tingginya tingkat deforestasi dan degradasi. Kebakaran menjadi salah satu penyebab utama dari gangguan ekosistem hutan, mengakibatkan kerugian lingkungan dan dampak ekonomi yang signifikan. Mengatasi ini, diperlukan respons cepat dalam penanganan kebakaran hutan untuk mencegah penyebarannya yang lebih luas. Salah satu tantangan utama dalam penanganan ini adalah keterlambatan informasi mengenai kejadian kebakaran, terutama karena kurangnya jaringan atau sinyal internet di kawasan hutan dan absennya notifikasi yang efektif kepada penjaga hutan. Sebagai solusi, kami merancang alat pendeteksi dini kebakaran hutan yang bertujuan mempercepat respons bencana. Alat ini mendeteksi level bahaya kebakaran berbasis logika fuzzy, mengaktifkan indikator LED dan buzzer, serta mengirim notifikasi melalui aplikasi bot telegram. Berdasarkan rancangan dan rule base yang telah ditetapkan, alat ini berhasil mengidentifikasi: kondisi aman dengan nilai defuzzifikasi 0 – 20, siaga 1 dengan nilai 20 – 40, siaga 2 dengan nilai 40 – 60, waspada dengan nilai 60 – 80, dan kondisi awas dengan nilai 80 – 100. Selain itu, alat ini efektif memberikan indikator dan mengirim notifikasi melalui bot telegram sesuai level bahaya yang terdeteksi, sehingga penjaga hutan dapat bertindak lebih cepat.

Kata Kunci— Deforestasi; Kebakaran hutan; Logika fuzzy; Pendeteksi dini; Notifikasi bot telegram.

I. PENDAHULUAN

HUTAN merupakan sumber daya alam yang tidak terbatas dan mempunyai manfaat yang sangat besar terhadap kehidupan makhluk hidup. Hutan berfungsi sebagai penampung karbon dioksida, modular arus hidrologika, pelestarian tanah, habitat tumbuhan dan hewan serta merupakan salah satu aspek biosfer bumi yang paling penting. Keberadaan hutan saat ini sangat memprihatinkan akibat laju deforestasi dan degradasi yang sangat tinggi setiap tahunnya. Deforestasi dan degradasi yang terjadi akibat gangguan terhadap hutan disebabkan oleh alam maupun perbuatan manusia. Sa-

lah satu penyebab utama gangguan hutan di Indonesia adalah kebakaran. Kebakaran hutan merupakan penyebab kerusakan hutan yang kedua setelah *illegal logging* (penebangan hutan secara liar). Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor:P.12/Menhut-II/2009 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan, pengertian kebakaran hutan adalah suatu keadaan dimana hutan dilanda api sehingga mengakibatkan kerusakan hutan dan atau hasil hutan yang menimbulkan kerugian ekonomis dan nilai lingkungan [1]. Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat laju deforestasi tahunan tercepat di dunia. Kebakaran hutan tersebut menyebabkan meningkatnya polusi udara yang terkontaminasi asap. Berdasarkan buku *Lindungi Diri dari Bencana Kabut Asap* yang dikeluarkan oleh *World Health Organization* (WHO) dan kementerian Kesehatan Republik In-

Naskah diterima 24-03-2023, revisi 21-06-2023, terbit online 29-09-2023. Emitor merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

donesia, asap dalam kebakaran hutan mengandung zat berbahaya untuk kesehatan. Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), ada lima kandungan berbahaya dalam asap kebakaran hutan, yakni Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), dan Ozon Permukaan (O₃). Hal tersebut juga dibenarkan oleh Laode Alhamd, Peneliti Bidang Ekologi LIPI.

Kebakaran hutan akan menyebabkan kerugian lingkungan dan kerugian ekonomi. Oleh karena itu untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh kebakaran hutan diperlukan penanganan yang cepat untuk menghindari meluasnya kebakaran hutan. Permasalahan dalam penanganan kebakaran hutan adalah lambatnya pemberitahuan mengenai informasi terjadinya kebakaran. Keadaan tersebut dikarenakan tidak adanya jaringan atau sinyal internet di kawasan hutan, serta indikator dan notifikasi kepada penjaga hutan. Oleh karena itu dibuatlah sebuah sistem pendeteksi dini kebakaran hutan untuk mempercepat proses tanggap bencana kebakaran hutan.

Berdasarkan permasalahan tersebut terdapat beberapa penelitian yang dilakukan, yaitu penelitian dengan merancang suatu sistem deteksi kebakaran berbasis node mcu 8266 dengan masukan sensor DHT11, sensor MQ2, sensor infrared, dan sistem pemberitahuan berbasis aplikasi Telegram di smartphone. Dari penggunaan alat tersebut menghasilkan pendeteksian kebakaran kurang akurat [2]. Penelitian lainnya yaitu pendeteksi kebakaran dalam pengiriman data menggunakan menggunakan modul SIM800L. Modul SIM800L merupakan modul GSM yang membutuhkan sinyal dalam mentransmisi data. Karena di hutan jarang ada sinyal wifi sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi keakuratan pengiriman data karena tidak semua hutan memiliki jaringan sinyal yang baik [3]. Penelitian lainnya yaitu deteksi kebakaran dengan menggunakan LoRa dalam mengirimkan data nilai sensor. Data nilai sensor yang dihasilkan akan ditampilkan menggunakan aplikasi Thingspeak. Penelitian ini tidak menggunakan metode untuk mendeteksi kebakaran secara akurat dan aplikasi *Thingspeak* yang digunakan hanya berfungsi untuk menampilkan data nilai sensor tanpa adanya pemberitahuan notifikasi hasil deteksi kebakaran [4–8].

II. METODE PENELITIAN

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, penelitian yang akan dilakukan yaitu membuat sebuah sistem pendeteksi kebakaran hutan yang terdiri dari dua alat yaitu alat sisi transmitter dan alat sisi receiver. Alat sisi transmitter menggunakan mikrokontroler arduino uno, tiga masukan sensor antara lain sensor DHT11, sensor MQ 2, dan sensor flame serta LoRa.

Alat sisi transmitter berfungsi untuk membaca masukan nilai sensor yang kemudian dilakukan pendeteksian dini kebakaran hutan menggunakan logika fuzzy yang menghasilkan data keluaran level bahaya. Selanjutnya data keluaran level bahaya akan dikirim menggunakan LoRa ke alat sisi receiver. Alat sisi receiver menggunakan mikrokontroler ESP8266, LoRa, LED, dan Buzzer. Alat sisi receiver berfungsi untuk menampilkan indikator berupa LED dan Buzzer serta memberikan notifikasi bot telegram kepenjaga hutan dari data level bahaya yang telah diterima dari alat sisi transmitter. Adapun komponen yang digunakan:

Arduino Uno. Arduino Uno merupakan papan sirkuit berbasis microcontroller ATmega328. IC (integrated circuit) ini memiliki 14 input/output digital (6 output untuk PWM), 6 analog input, resonator kristal keramik 16 MHz, Koneksi USB, soket adaptor, pin header ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontroler secara mudah terhubung dengan kabel power USB atau kabel power supply adaptor AC ke DC atau juga battery.



Gambar 1: Arduino Uno

Sensor DHT11. Modul sensor DHT11 merupakan sensor pendeteksi suhu disekitarnya. Data keluaran pada modul sensor ini berupa data digital sehingga mudah digunakan tanpa melakukan perhitungan terlebih dahulu [9]. Didalam bodi sensor terdapat sebuah resistor dengan tipe NTC (Negative Temperature Coefficient). Cara kerja dari sensor DHT11 dalam mengukur suhu menggunakan thermistor koefisien suhu negatif yang menyebabkan penurunan nilai resistansinya seiring dengan kenaikan suhu.

Sensor MQ-2. Sensor MQ2 merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mendeteksi gas atau asap disekitarnya termasuk gas LPG, CO, Alkohol, H₂, CH₄, dan propane sehingga sensor ini cocok digunakan dalam penelitian ini karena pada sensor MQ2 ini dapat



Gambar 2: Sensor DHT11

mendeteksi asap kebakaran [10–14]. Sensor ini disusun oleh senyawa SnO₂ dan juga terdiri dari tabung alumunium yang dikelilingi dengan silikon serta pada pusatnya terdapat elektroda yang terbuat dari aurum yang memiliki elemen pemanas.



Gambar 3: MQ-2

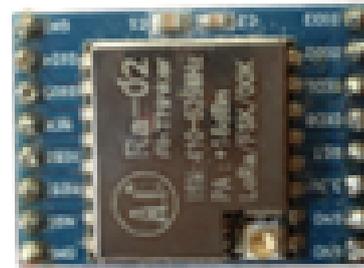
Sensor Flame. Sensor Flame adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi dan merespons keberadaan nyala api, sehingga memungkinkan untuk deteksi kebakaran yang diakibatkan oleh nyala api. Flame Sensor merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi dapat mendeteksi nyala api dengan panjang gelombang 760nm – 1100nm.



Gambar 4: Sensor Flame

LoRa (Long Range). LoRa SX1278 beroperasi pada lapisan fisik tetapi mudah dikonfigurasi dengan lapisan yang lebih tinggi. Ini menjadikan LoRa SX1278 dapat terintegrasi dan berinteroperasi dengan arsitektur jaringan yang telah ada. Teknologi ini mampu meminimalkan interferensi sehingga efisiensi jaringan meningkat. LoRa SX1278 bekerja pada komunikasi half-duplex yang membuat data dapat ditransmisikan secara dua arah tapi tidak dapat secara bersama-sama.

ESP8266. ESP 8266 merupakan sebuah platform IoT yang bersifat opensource. ESP8266 berupa board yang memiliki fitur layaknya mikrokontroler serta kapabilitas akses terhadap WiFi juga chip komunikasi USB to serial. Modul ESP8266 membutuhkan suplai tegangan 3.3 V dan bekerja pada protocol 802.11 b/g/n



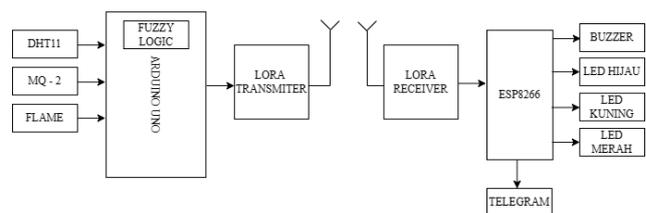
Gambar 5: LoRa (Long Range)

serta frekuensi 2.4 GHz.



Gambar 6: ESP8266

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan level bahaya kebakaran menggunakan logika fuzzy pada Arduino uno dengan masukan nilai suhu, asap, dan api. Data level bahaya dikirim oleh LoRa transmitter ke LoRa receiver yang diproses pada ESP8266 untuk memberikan indikator pada alat dan notifikasi telegram.



Gambar 7: Blok Diagram Sistem Keseluruhan Alat

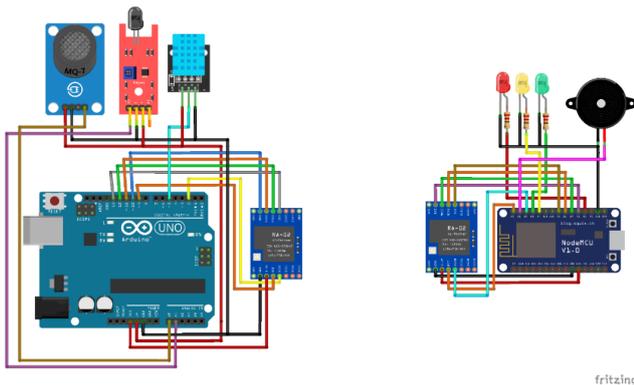
Sistem ini dirancang untuk dapat mendeteksi adanya level bahaya kebakaran pada hutan, dimana daerah hutan tidak terjangkau oleh internet. Data didapat dari masukan sensor DHT11 untuk nilai suhu, MQ2 untuk nilai asap, dan Flame untuk nilai api. Arduino digunakan sebagai pengolah masukan nilai sensor dengan logika fuzzy menghasilkan nilai defuzzyfikasi yang digunakan untuk menentukan level bahaya kebakaran. Lora transmitter digunakan untuk mengirim data level bahaya kebakaran. Lora receiver berfungsi sebagai penerima data level bahaya yang dikirim oleh lora

transmitter. ESP8266 digunakan untuk mengolah data dari LoRa Receiver berupa level bahaya untuk menghasilkan sebuah output. Output yang dihasilkan berupa indikator nyala LED dan / suara buzzer pada alat sisi receiver yang terletak di rumah penjaga hutan. Data hasil level bahaya kebakaran juga akan dikirimkan ke penjaga hutan via aplikasi bot telegram.

i. Perancangan Elektronika

Perancangan elektronika sistem deteksi kebakaran hutan ini terdapat 2 bagian, yaitu perancangan pada sisi transmitter dan perancangan pada sisi receiver. Untuk perancangan sisi transmitter meliputi sensor MQ2, sensor DHT11, sensor Flame, mikrokontroler Arduino UNO, dan LoRa yang di setting sebagai LoRa transmitter. Berikut gambar rangkaian elektronika alat sisi transmitter:

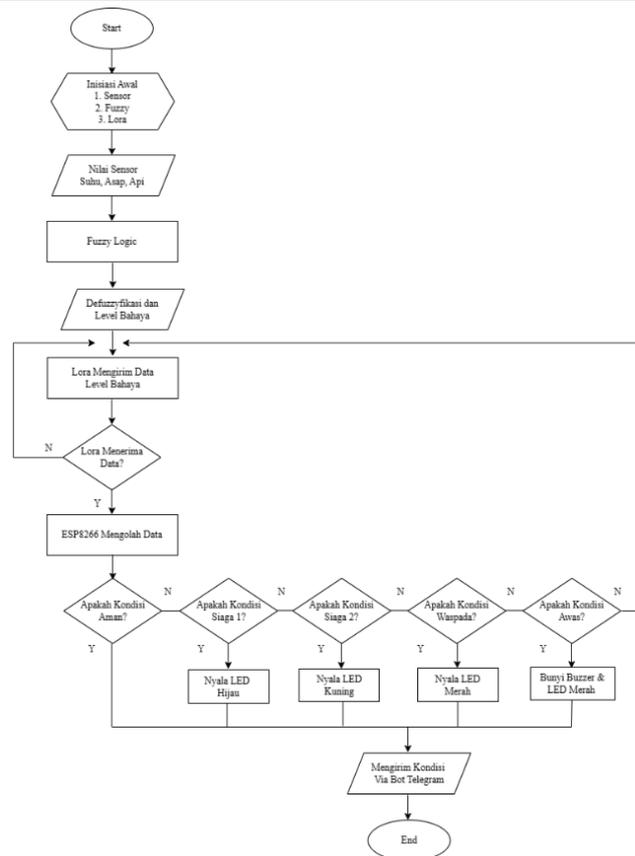
Sedangkan untuk perancangan pada Sisi Receiver terdiri dari LoRa Receiver, ESP8266, LED, dan Buzzer. LoRa Receiver berfungsi sebagai penerima data yang dikirim oleh LoRa Transmitter dan ESP8266 digunakan untuk menyalakan indikator pada alat.



Gambar 8: Rangkaian Elektronika Alat Sisi transmitter dan sisi receiver

ii. Flowchart Sistem Alat

Berdasarkan Gambar 9 saat sistem dimulai selanjutnya dilakukan inisiasi sensor, fuzzy, dan LoRa. Inputan berupa nilai suhu, asap, dan api. Data nilai sensor yang didapat di proses menggunakan logika fuzzy menghasilkan data nilai defuzzyfikasi dan level bahaya. LoRa transmitter mengirimkan data level bahaya tersebut. Selanjutnya apakah LoRa Receiver menerima data, jika tidak akan kembali pada LoRa Transmitter mengirimkan data, jika LoRa Receiver menerima data level bahaya akan diolah pada ESP8266. Data yang didapat apakah berupa kondisi aman? Jika kondisi aman langsung mengirimkan notifikasi telegram 1 jam sekali, jika tidak aman apakah data berupa kondisi siaga 1? Jika siaga 1 akan nyala led hijau dan mengirimkan notifikasi



Gambar 9: Flowchart Sistem Alat

telegram 5 menit sekali, jika tidak apakah berupa kondisi siaga 2? Jika kondisi siaga 2 akan nyala led kuning dan mengirimkan notifikasi telegram 5 menit sekali, jika tidak apakah berupa kondisi waspada? Jika kondisi waspada maka akan nyala led merah dan mengirimkan notifikasi telegram 10 detik sekali. Jika tidak apakah berupa kondisi awas? Jika kondisi awas akan nyala led merah dan bunyi buzzer serta mengirimkan notifikasi telegram 10 detik sekali, jika tidak akan Kembali ke LoRa transmitter pada pengiriman data.

iii. Logika Fuzzy Mamdani

Metode logika fuzzy pada penelitian ini digunakan untuk menentukan level bahaya kebakaran dengan masukan nilai suhu, asap dan api. Logika fuzzy yang digunakan untuk menentukan level bahaya kebakaran adalah Fuzzy Mamdani. Pada logika fuzzy terdapat beberapa tahapan untuk mencapai hasil akhir, yaitu:

Tahap Fuzzyfikasi Pada tahapan fuzzyfikasi dilakukan pembentukan fungsi keanggotaan (membership function). Fungsi keanggotaan berfungsi memetakan input dan output nilai yang dihasilkan dari proses pembacaan sensor dengan membuat himpunan fuzzy [15].

Tabel 1: Himpunan Logika Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Pembacaan
Masukan	SUHU (°C)	Dingin	[0 – 26]
		Sejuk	[20 – 34]
		Hangat	[28 – 46]
		Panas	[38 – 60]
	ASAP (ppm)	Renggang	[400 – 600]
		Sedang	[500 – 700]
		Pekat	[600 – 800]
	API	Dekat dengan Sensor	[0 – 300]
		Jauh dengan Sensor	[200 – 650]
Tidak ada api		[500 – 1023]	
Keluaran	Indikasi	Aman	[0 – 20]
		Siaga 1	[20 – 40]
		Siaga 2	[40 – 60]
		Waspada	[60 – 80]
		Awas	[80 – 100]

Tahap Interference Pada tahapan ini dilakukan pembentukan aturan (rule base) dari logika Fuzzy. Aturan ini berdasarkan dari tiap – tiap variabel masukan dan keluaran yang telah ditentukan pada tahapan fuzzyfikasi. Terdapat 39 aturan dalam penelitian ini.

Tahap Defuzzyfikasi Pada tahapan ini merupakan tahapan terakhir yang menghasilkan sebuah keputusan dari logika fuzzy. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode COA (Center of Area) atau disebut juga centroid [16–19]. Pada metode ini dilakukan dengan mencari titik pusat pada daerah fuzzy hasil proses penalaran dengan mencari nilai hasil pembagian antara sigma momen dan sigma alpha sehingga didapatkan:

$$Z_{COA*} = \frac{\Sigma \text{Momen}}{\Sigma \text{Alpha}} = \frac{(Z1 \times \alpha1) + (Z2 \times \alpha1)}{\alpha1 + \alpha1}$$

iv. Perancangan Telegram Bot

Tahapannya adalah: Mencari BotFather untuk memulai dan meminta akses pembuatan bot telegram. Pilih mulai untuk memulai pembuatan bot telegram. Pilih newbot untuk membuat bot baru dan Menginputkan nama bot dan username bot yang sesuai. Mendapatkan token API untuk mengakses bot telegram yang telah dibuat. Bot telegram yang telah dibuat dapat dilakukan pencarian pada menu pencarian telegram [20].

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan alat yang telah dibuat dan apakah sistem telah berjalan sesuai dengan rancangan dan mengetahui apakah output yang dihasilkan telah sesuai. Pengujian dilakukan

menggunakan 3 masukan nilai suhu, asap dan api. Penelitian dilakukan di area perhutanan gumitir, dalam pengujian dilakukan perubahan kondisi dengan merubah besaran objek kepada sensor seperti jarak nyala api menggunakan korek gas, tebal asap dengan pembakaran kertas pada kaleng. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan bervariasi besaran masukan nilai sensor. Masukan nilai sensor tersebut diproses menggunakan logika fuzzy untuk memperoleh nilai defuzzyfikasi. Dari nilai defuzzyfikasi tersebut akan diketahui keluaran level bahaya kebakarannya. Level bahaya kebakaran yang diketahui selanjutnya akan dikirim oleh LoRa transmitter ke LoRa receiver untuk mendapat respon kondisi indikator alat dan mengirimkan notifikasi level bahaya tersebut ke aplikasi Bot telegram. Penelitian dilakukan pada jarak 700 m antara alat sisi transmitter dan alat sisi receiver. Level bahaya meliputi aman, siaga 1, siaga 2, waspada, dan awas.

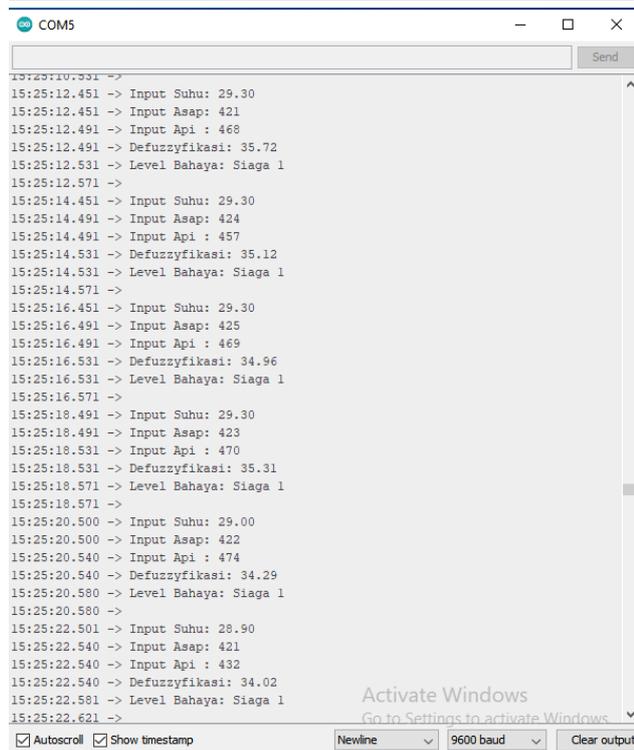
**Gambar 10:** Hasil Pembuatan Alat Sisi Transmitter**Gambar 11:** Hasil Pembuatan Alat Sisi Receiver

i. Hasil Proses Fuzzy dan Level Bahaya

Hasil proses fuzzy didapat dari 3 masukan nilai suhu, asap, dan api menghasilkan nilai defuzzyfikasi untuk menentukan level bahaya kebakaran. Rentang nilai defuzzyfikasi pada kondisi aman 0-20, kondisi siaga 1 20-40, kondisi siaga 2 40-60, kondisi waspada 60-80, dan kondisi awas 80-100. Berikut contoh tampilan hasil proses fuzzy pada serial monitor: Pada Gambar 12 dihasilkan nilai defuzzyfikasi sebesar 35,72 dan dapat dilihat level bahaya yang didapat yaitu siaga 1. Telah sesuai dengan aturan yang dibuat.

ii. Hasil Pengujian Indikator Alat

Pengujian indikator alat dilakukan untuk mengetahui respon LED dan buzzer pada alat penelitian yang telah

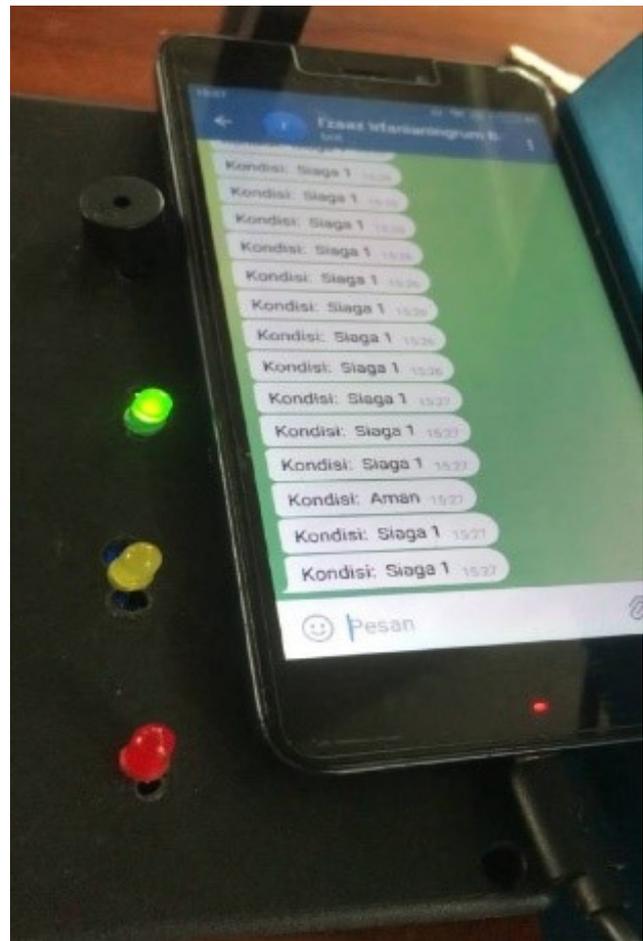


Gambar 12: Tampilan Hasil Proses Fuzzy dan Level Bahaya

dibuat. Indikator alat memanfaatkan masukan data level bahaya yang dideteksi. Saat kondisi aman alat tidak terdapat indikator apapun, saat kondisi siaga 1 alat akan menandakan nyala LED hijau, saat kondisi siaga 2 akan nyala LED kuning, saat kondisi waspada akan nyala LED merah, saat kondisi awas akan nyala LED merah dan bunyi buzzer. Berikut salah satu contoh hasil pengujian indikator alat: Pada Gambar 13 terlihat level bahaya yang terdeteksi yaitu siaga 1, maka indikator pada alat menunjukkan nyala LED hijau. Telah sesuai dengan aturan yang dibuat.

iii. Hasil Pengujian Aplikasi Bot Telegram

Pengujian Aplikasi Bot Telegram pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bahwa bot telegram yang telah di buat mampu terkoneksi dengan alat deteksi kebakaran dan dapat memberikan notifikasi hasil level bahaya. Hasil keluaran dari pengujian koneksi pada aplikasi telegram berupa screenshot tampilan notifikasi bot telegram beserta gambar indikator alat. Pada Gambar 14 terlihat indikator pada alat yaitu nyala LED kuning yang menandakan adanya level bahaya siaga 2 yang terdeteksi. Terlihat juga pada notifikasi telegram yang didapat menunjukkan level bahaya siaga 2 yang diterima. Telah sesuai dengan aturan yang dibuat.



Gambar 13: Tampilan Indikator Alat

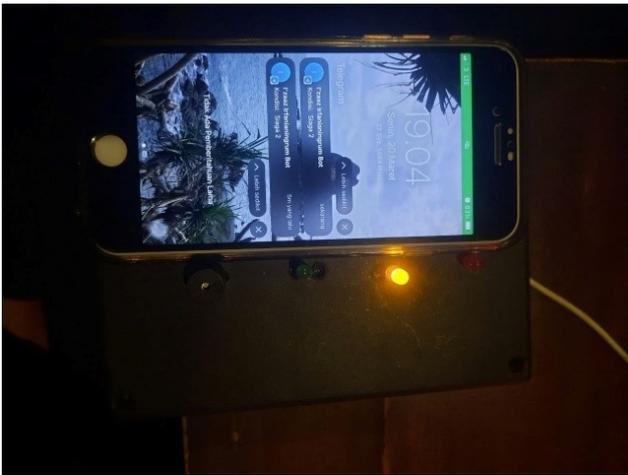
iv. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan alat deteksi kebakaran hutan bertujuan untuk mengetahui apakah alat deteksi kebakaran dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan dengan menggabungkan dari pengujian-pengujian di atas yang telah dilakukan.

Tabel 2: Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

SH	AS	AP	DFZ	Krm	Trm	LED	Tele
30,20	430	806	19,04	Am	Am	No	Am
28,90	425	851	16,07	Am	Am	No	Am
28,90	421	434	34,02	Sg 1	Sg 1	Hi	Sg 1
30,20	423	613	27,92	Sg 1	Sg 1	Hi	Sg 1
31,80	423	357	37,50	Sg 1	Sg 1	Hi	Sg 1
28,90	420	245	41,97	Sg 2	Sg 2	Ku	Sg 2
30,20	424	51	55,12	Sg 2	Sg 2	Ku	Sg 2
33,30	422	72	58,46	Sg2	Sg2	Ku	Sg2
34,20	415	36	65,00	Wsp	Wsp	Me	Wsp
33,80	425	37	62,71	Wsp	Wsp	Me	Wsp

Dengan notasi: SH: Suhu ($^{\circ}\text{C}$), Am: Aman, AS: Asap (ppm), Sg 1: Siaga 1, AP: Api, Sg 2: Siaga 2, DFZ: Deffuzyfikasi, Wsp: Waspada, TRM: Data di terima, Hi: Hijau, LED: Nyala LED, Ku: Kuning, TELE: Notifikasi Telegram, Me: Merah.



Gambar 14: Hasil Pengujian Aplikasi Telegram

Pada Tabel 2 Pengujian sistem keseluruhan yang telah dilakukan dengan masukan nilai sensor suhu, asap dan api menghasilkan nilai defuzzyfikasi untuk menentukan level bahaya. Level bahaya yang diperoleh telah sesuai dengan hasil defuzzyfikasi. Data level bahaya yang dikirim oleh LoRa Transmitter dengan data yang diterima oleh LoRa receiver memiliki data yang sama dan sesuai. Kondisi indikator dengan terdeteksinya level bahaya yang diperoleh juga telah sesuai dengan aturan yang dibuat. Serta aplikasi bot telegram mampu mengirimkan hasil level bahaya yang sesuai berupa notifikasi kondisi level bahaya yang terdeteksi. Sehingga alat dan sistem yang dibuat secara keseluruhan telah berjalan dengan baik dan sesuai dengan perancangan yang telah dibuat.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Level bahaya Aman memiliki rentang nilai defuzzyfikasi 0 – 20 tanpa ditandai indikator pada alat, pada tabel hasil pengujian sistem keseluruhan didapat nilai defuzzyfikasi sebesar 19,04 dan 16,07 menghasilkan kondisi level bahaya aman. Level bahaya Siaga 1 memiliki rentang nilai defuzzyfikasi 20 – 40 dengan indikator nyala LED hijau, pada tabel hasil pengujian sistem keseluruhan didapat nilai defuzzyfikasi sebesar 34,02, 27,92 dan 37,50 menghasilkan kondisi level bahaya siaga 1. Level bahaya Siaga 2 memiliki rentang nilai defuzzyfikasi 40 – 60 dengan indikator nyala LED kuning, pada tabel hasil pengujian sistem keseluruhan didapat nilai defuzzyfikasi sebesar 41,97, 55,12 dan 58,46 menghasilkan kondisi level bahaya siaga 2. Level bahaya Waspada memiliki rentang nilai defuzzyfikasi 60 – 80 dengan indikator nyala LED merah, pada tabel hasil pengujian

sistem keseluruhan didapat nilai defuzzyfikasi sebesar 65,00 dan 62,71 menghasilkan kondisi level bahaya waspada. Level bahaya Awasi memiliki rentang nilai defuzzyfikasi 80 – 100 dengan indikator nyala LED merah dan suara buzzer. Sistem logika fuzzy dapat digunakan untuk mendeteksi level bahaya kebakaran dengan memanfaatkan masukan nilai suhu, asap dan api yang menghasilkan nilai defuzzyfikasi. Hal tersebut dapat dibuktikan pada hasil pengujian proses logika fuzzy dan level bahaya. Hasil pengujian tersebut sesuai variabel keluaran dari rule base yang telah dibuat. Aplikasi bot telegram yang dibuat dapat mengirimkan notifikasi level bahaya sesuai dengan level bahaya yang terdeteksi pada indikator alat. Hal tersebut terlihat pada hasil pengujian aplikasi bot telegram pada saat indikator LED hijau yang menyala terdapat notifikasi level bahaya siaga 1 pada aplikasi bot telegram. Sehingga Aplikasi bot telegram yang dibuat pada pengujian ini dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan indikator alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Kehutanan, "Tentang pengendalian kebakaran hutan," 2009, PERATURAN MENTERI KEHUTANAN NOMOR: P. 12/Menhut-II/2009.
- [2] A. Kukuh, K. Diafari, and N. Pramaita, "Rancang bangun sistem pendeteksi kebakaran hutan berbasis node mcu esp8266," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, 2021.
- [3] Y. F.M., A. Triwiyatno, and Y. A. A. S., "Perancangan dan implementasi sistem pendeteksi dini kebakaran hutan dan lahan berdasarkan faktor iklim dan cuaca dengan metode fuzzy logic," *TRANSIENT*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [4] M. A. M., "Implementasi wireless sensor network sebagai pendeteksi kebakaran berbasis lora," 2019.
- [5] V.-T. Truong, A. Nayyar, and S. A. Lone, "System performance of wireless sensor network using lora-zigbee hybrid communication," *Computers, Materials & Continua*, vol. 68, no. 2, pp. 1615–1635, 2021.
- [6] A.-M. Dragulinescu, A. Dragulinescu, C. Zamfirescu, S. Hlunga, and G. Suci, "Smart neighbourhood: Lora-based environmental monitoring and emergency management collaborative iot platform," in *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [7] R. Anand, D. Sethi, K. Sharma, and P. Gambhir, "Soil moisture and atmosphere components detection system using iot and machine learning," in *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*. IEEE, 2019, pp. 842–847.
- [8] M. H. Seyar and T. Ahamed, "Development of an iot-based precision irrigation system for tomato production from indoor seedling germination to outdoor field production," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 9, p. 5556, 2023.
- [9] A. D. Kusri, "Prototype sistem deteksi kebakaran pada gedung bertingkat berbasis arduino pro mini dengan terintegrasi telegram," 2020.
- [10] H. Lukman and J. Halim, "Peringatan kebakaran hutan menggunakan sensor api, suhu dan asap," in *SEMNASITIK X*, 2018.

- [11] N. Tripathi, D. Obulesu, A. Murugan, V. Mittal, B. R. Babu, and S. Sharma, "Iot based surveillance system for fire and smoke detection," in *2022 5th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. IEEE, 2022, pp. 1557–1563.
- [12] N. Chowdhury, D. R. Mushfiq, and A. E. Chowdhury, "Computer vision and smoke sensor based fire detection system," in *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*. IEEE, 2019, pp. 1–5.
- [13] M. I. Mobin, M. Abid-Ar-Rafi, M. N. Islam, and M. R. Hasan, "An intelligent fire detection and mitigation system safe from fire (sff)," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 133, no. 6, pp. 1–7, 2016.
- [14] M. A. bin Suparman and L. Jong, "Automatic smoke detection system with favoriot platform using internet of things (iot)," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 15, no. 2, pp. 1102–1108, 2019.
- [15] S. N. Sivanandam, S. Sumanthi, and S. N. Deepa, *Introduction to Fuzzy Logic using Matlab*. Berlin: Springer, 2007.
- [16] M. M. P., "Sistem indikasi tingkat dehidrasi dan gangguan hati berdasarkan warna urin menggunakan fuzzy logic," 2021.
- [17] E. Haerani, "Analisa kendali logika fuzzy dengan metode defuzzifikasi coa (center of area), bisektor, mom (mean of maximum), lom (largest of maximum), dan som (smallest of maximum)," *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 10, no. 2, pp. 245–253, 2014.
- [18] A. Akshar, "Penentuan tingkat kerawanan longsor menggunakan metode fuzzy logic," *TECHSI-Jurnal Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [19] S. Anisah, T. Yulianto, and F. Faisol, "Perbandingan fuzzy sugeno dan fuzzy mamdani pada analisis minat masyarakat terhadap produk air minum dalam kemasan lokal dan nasional di madura," *Zeta-Math Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 29–37, 2021.
- [20] M. D. T. E., "Penerapan telegram bot untuk kontrol jarak jauh dalam sistem smarthome sederhana," 2020.