

# SISTEM PREDIKSI KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*

Dea Fitriana<sup>1</sup>, Jefri Lianda<sup>2</sup>, Azizul<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Bengkalis, Bengkalis, Riau, Indonesia

email: [fitrianaadea24@gmail.com](mailto:fitrianaadea24@gmail.com)<sup>1</sup>, [jefri@polbeng.ac.id](mailto:jefri@polbeng.ac.id)<sup>2</sup>, [azizul@polbeng.ac.id](mailto:azizul@polbeng.ac.id)<sup>3</sup>

**Intisari** - Kebakaran hutan dan lahan merupakan permasalahan serius yang sering terjadi di Indonesia, khususnya saat musim kemarau. Dampaknya sangat luas, mulai dari kerusakan ekosistem, gangguan kesehatan, hingga kerugian ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem prediksi kebakaran hutan berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *Fuzzy Logic*. Sistem ini dilengkapi dengan sensor suhu (DHT22), sensor asap (MQ-4), dan sensor api (*Flame Sensor*) yang dihubungkan ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Data yang dikumpulkan oleh sensor akan diproses dan dianalisis menggunakan metode *Fuzzy Logic* untuk menentukan tingkat risiko kebakaran dengan kategori “Aman”, “Waspada” dan “Berbahaya”. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan suhu, kelembapan, asap, dan keberadaan api secara *real-time* dan memberikan peringatan melalui *website*. Sensor suhu memiliki rata-rata error sebesar 4,8%–5%, kelembapan 4,1%–4,5%, dan sensor api mampu mendeteksi api hingga jarak 300 cm. Dengan tingkat akurasi yang baik, sistem ini dapat meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi potensi kebakaran hutan serta membantu pihak berwenang mengambil tindakan preventif secara cepat dan tepat.

**Kata Kunci** - Kebakaran Hutan, *Internet of Things* (IoT), *Fuzzy Logic*, NodeMCU ESP8266, Sistem Deteksi Dini.

**Abstrack** - Forest and land fires are a serious problem that often occurs in Indonesia, especially during the dry season. The impact is very wide, ranging from ecosystem damage, health problems, to economic losses. This research aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based forest fire prediction system using the Fuzzy Logic method. The system is equipped with a temperature sensor (DHT22), smoke sensor (MQ-4), and flame sensor (*Flame Sensor*) connected to a ESP8266 NodeMCU microcontroller. The data collected by the sensors will be processed and analyzed using the Fuzzy Logic method to determine the level of fire risk with the categories of "Safe", "Alert", and "Dangerous". The test results showed that the system was able to detect changes in temperature, humidity, smoke, and the presence of fire in real-time and provide alerts through the website. The temperature sensor has an average error of 4.8%–5%, humidity of 4.1%–4.5%, and the fire sensor is able to detect fire up to a distance of 300 cm. With a good level of accuracy, the system can improve preparedness in dealing with potential wildfires and help authorities take preventive actions quickly and effectively.

**Keywords** - Forest Fires, Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, NodeMCU ESP8266, Early Detection Systems.

## I. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan di Indonesia telah menjadi perhatian dunia internasional, khususnya sejak peristiwa besar yang terjadi pada tahun 80-an. Penyebab utama dari kebakaran ini lebih sering berasal dari ulah manusia dibandingkan proses alami. Berbagai penelitian telah dilakukan di Indonesia, salah satunya oleh Ariesta Lestari yang mengkaji faktor-faktor penyebab kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Tengah. Dalam penelitian tersebut

dijelaskan bahwa baik faktor alam seperti bencana, fenomena El-Nino, dan rendahnya curah hujan, maupun faktor manusia, turut berkontribusi terhadap terjadinya kebakaran [1]. Indonesia yang berada di bawah garis khatulistiwa hanya memiliki dua musim, yakni musim kemarau dan musim penghujan. Musim kemarau, yang ditandai dengan curah hujan sangat rendah selama tiga dasarian berturut-turut, menyebabkan kekeringan di berbagai daerah dan membuat hutan menjadi tandus serta rentan terbakar. Faktor alam seperti El-Nino dapat memperpanjang musim kemarau dan menyebabkan tanaman mengering, sementara faktor manusia seperti pembukaan lahan dengan metode tebang, tebas, dan bakar, pembakaran hutan, serta api unggun yang tidak dipadamkan, menjadi penyebab lain dari kebakaran hutan [2].

Dampak kebakaran hutan sangat luas, baik dari sisi sosial ekonomi maupun lingkungan dan kesehatan. Dari sisi ekonomi, masyarakat yang menggantungkan hidup dari hutan kehilangan sumber mata pencaharian karena ladang dan kebun mereka terbakar. Secara ekologis, kebakaran menyebabkan kerusakan siklus hidrologi, penurunan kualitas tanah, dan hilangnya benih vegetasi. Dari sisi kesehatan, asap kebakaran dapat menyebabkan gangguan pernapasan seperti asma, bronkitis, pneumonia, iritasi mata, dan mengganggu aktivitas harian karena jarak pandang yang terbatas (Adinugroho, 2005). Melihat kompleksitas dan dampak kebakaran hutan yang begitu besar, penulis merancang sistem pendeteksi kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU dan dilengkapi dengan sensor api, asap, serta suhu. Sistem ini dirancang untuk memantau perubahan kondisi secara real-time dan mengirimkan data ke website serta memberikan notifikasi melalui telepon untuk mendeteksi gejala awal kebakaran.

Metode *Fuzzy Logic Control* dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam menangani konsep nilai yang tidak mutlak benar atau salah, serta fleksibilitasnya dalam memodelkan data yang tidak tepat dan fungsi nonlinear yang kompleks. *Fuzzy Logic* menggunakan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, memungkinkan pengambilan keputusan dengan derajat kebenaran yang variatif. Metode ini juga umum digunakan dalam kendali kecepatan gerak seperti pada robot, dengan kelebihan mengurangi getaran serta meningkatkan stabilitas dan akurasi. Dalam konteks penelitian ini, *Fuzzy Logic* digunakan untuk memproses data dari sensor dan memprediksi risiko kebakaran [4]. Konsepnya yang sederhana, fleksibel, dan toleran terhadap data tidak tepat menjadikannya cocok untuk sistem deteksi seperti yang dibangun dalam penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana cara membangun dan mendesain sistem pendeteksi kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT), bagaimana merancang program pemantauan peringatan kebakaran, bagaimana menganalisis pengujian alat saat dilakukan tes terhadap api, suhu, kelembapan, dan asap, serta bagaimana cara kerja NodeMCU ESP8266 dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Control*.

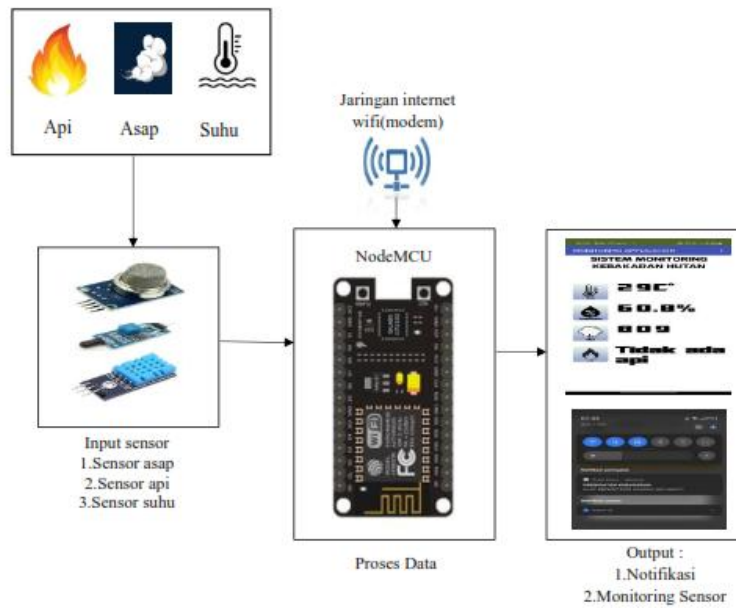
## II. METODE

### A. Sistem Kerja Alat Secara Umum

Kebakaran hutan dapat menimbulkan kerugian besar, sehingga diperlukan alat pendeteksi dini berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan sensor suhu, asap, dan api. Sistem ini memantau perubahan kondisi lingkungan secara real-time dan mengirimkan data ke pusat pemantauan untuk dianalisis. Jika terdeteksi potensi kebakaran, sistem akan mengirimkan peringatan kepada pihak berwenang agar dapat segera merespons, sehingga kerusakan hutan dapat diminimalkan.

*B. Blok Diagram Sistem*

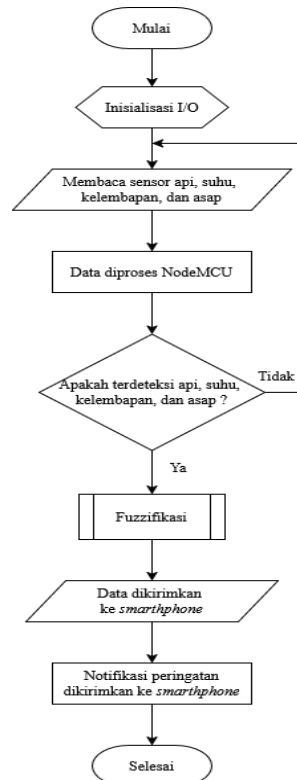
Secara umum, sistem terdiri dari tiga tahapan utama yaitu input, proses dan *output*, di mana data sampel yang masuk akan diolah melalui instruksi pemrograman untuk menghasilkan keluaran tertentu. Sistem ini dirancang dalam dua bagian, yaitu desain *hardware* yang mencakup sensor suhu DHT22, sensor asap MQ2, sensor api, *buck converter*, baterai, dan panel surya, serta desain *software* yang mencakup komunikasi antara Arduino, modul komponen, dan *smartphone*. *Block diagram* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar di bawah ini



Gambar 1 *Block diagram*

*C. Flowchart*

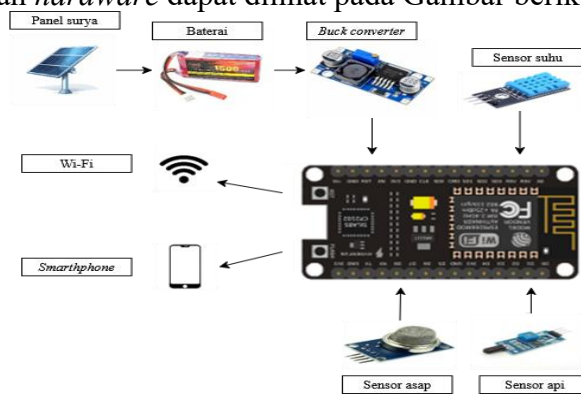
Ada beberapa prosedur yang harus dilakukan dalam membuat rancangan alat agar dapat bekerja sesuai dengan prosedur yang diharapkan. Maka *flowchart* berikut ditujukan sebagai bentuk deskripsi prosedur kerja alat dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 2 Flowchart

*D. Rancangan Hardware*

Perangkat keras atau *hardware* adalah alat-alat dalam perangkat keras yang digunakan dalam pembuatan *prototype* untuk mempermudah dalam penyelesaian penelitian ini. Sistem ini memiliki komunikasi satu arah yaitu nilai masukan dari sensor berupa pendeteksian api, suhu, kelembapan, dan asap. Tujuan utama dari perancangan *hardware* adalah menghasilkan perangkat keras yang memenuhi spesifikasi fungsional dan kinerja tertentu. *Hardware* pada sistem pendeteksi kebakaran menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pemrosesan data. Rancangan *hardware* dapat dilihat pada Gambar berikut.

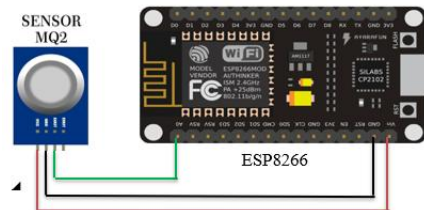


Gambar 3 Rancangan Hardware

a. Sensor Asap

Dalam sistem ini, sensor Asap MQ2 berfungsi untuk mengubah besaran asap menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor Asap MQ2 terhubung

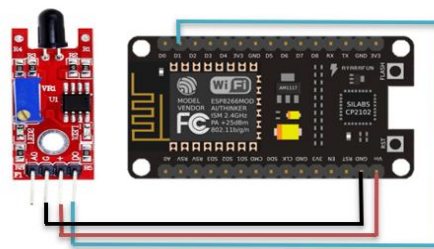
pada pin A0, GND, Vin pada Node MCU ESP8266. Rangkaian sensor asap MQ2 dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 4 Rangkaian Sensor Asap

b. *Flame Sensor/Sensor Api*

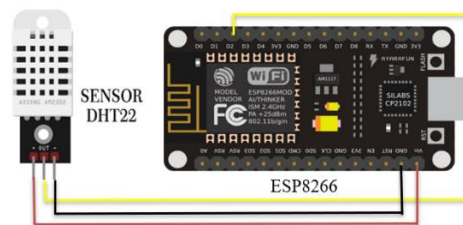
Sebuah sensor api merupakan sebuah alat pendeteksi kebakaran melalui adanya api yang tiba-tiba muncul. Sensor ini memiliki tegangan 3,3 V – 5,5 V dengan panjang gelombang dalam jangkauan 760 nm sampai dengan 1,100 nm. Rangkaian sensor api dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 5 Rangkaian Sensor Api

c. *Sensor Suhu*

Sensor DHT22 adalah sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi tentang suhu dan kelembaban udara. Rangkaian sensor suhu ini terhubung ke modul ESP8266 ke pin D2, Vin, dan GND. Rangkaian sensor suhu dapat dilihat pada Gambar berikut



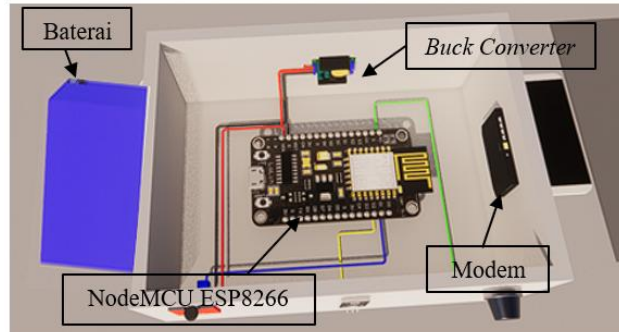
Gambar 6 Rangkaian Sensor Suhu

*E. Rancangan Software*

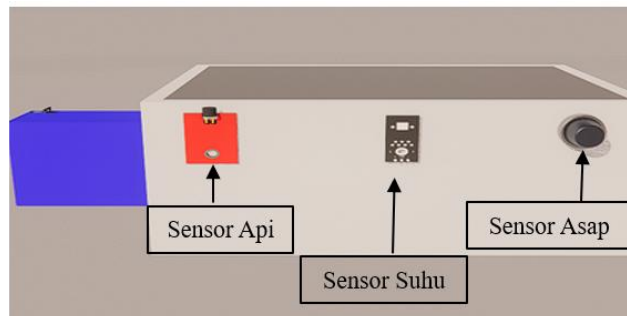
Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara rinci seluruh alur kerja sistem, termasuk struktur data, antarmuka pengguna, dan logika program. Sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan NodeMCU ESP8266, dengan integrasi sensor suhu (DHT22), gas (MQ4), dan api. Koneksi ke jaringan WiFi dan *Firestore* disiapkan untuk pengiriman data secara *real-time*. Data dari sensor diproses menggunakan logika *fuzzy*, di mana input seperti suhu dan kadar gas diklasifikasikan ke dalam kategori *fuzzy* seperti *low*, *medium*, dan *high*. Selanjutnya, aturan *fuzzy* diterapkan untuk menentukan kondisi sistem, yaitu *aman*, *waspada*, atau *berbahaya*. Proses ini mencakup defuzzifikasi untuk menghasilkan keputusan akhir sistem berdasarkan kombinasi nilai input. Seluruh hasil pembacaan sensor dikirimkan ke *Firestore Realtime Database* untuk pemantauan jarak jauh. Dengan integrasi ini, sistem dapat melakukan deteksi potensi kebakaran secara otomatis dan memberikan peringatan dini melalui analisis berbasis *fuzzy logic*.

*F. Rancangan Prototype*

Rancangan *Prototype* bentuk alat yang akan dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 7 Tampilan Dalam



Gambar 8 Tampilan Luar

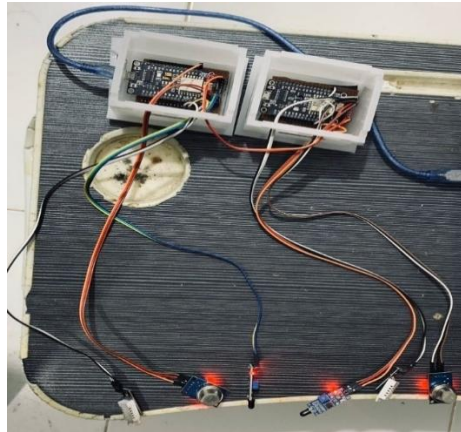
**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

*A. Hasil Perancangan Alat*

Dari hasil perancangan Sistem Prediksi Kebakaran Hutan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* ini yang perlu diperhatikan adalah memastikan semua komponen–komponen terpasang dengan baik dan benar. Agar tidak terjadi kendala kerusakan yang diinginkan, seperti *power supply* yang membutuhkan tegangan untuk menampung semua komponen yang sudah terpasang. Komponen lainnya adalah panel surya, baterai, *buck converter*, ESP8266, sensor suhu, sensor kelembapan, sensor api, sensor gas. Hasil perancangan alat keseluruhan dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 9 Tampilan Keseluruhan Alat



Gambar 10 Tampilan Komponen Utama

### B. Hasil Pengujian Alat

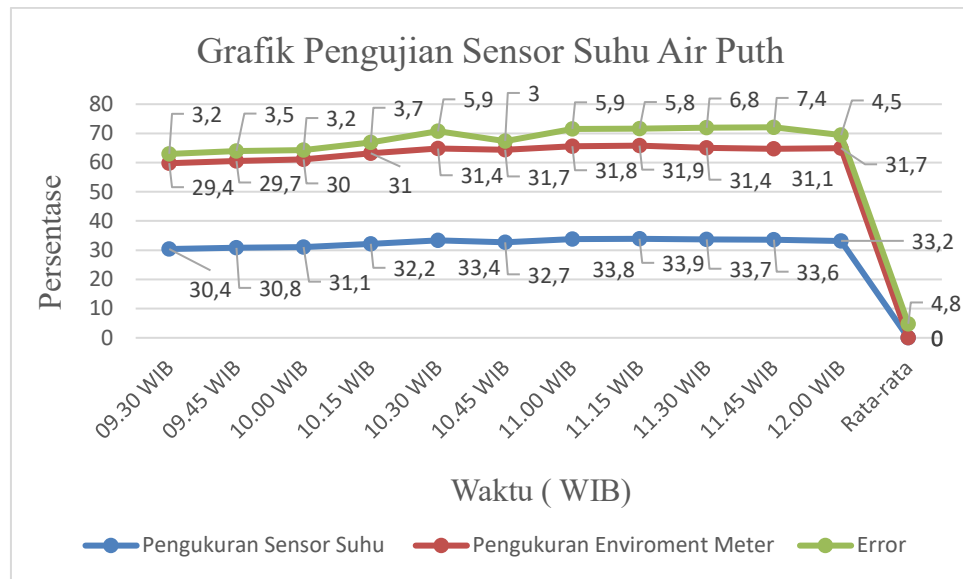
#### a. Pengujian Sensor Suhu.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sensor suhu yang digunakan bekerja atau tidak. Hasil pengujian sensor suhu air putih dapat dilihat pada Tabel 1 dan pengujian sensor suhu sungai alam dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 1 HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU AIR PUTIH

No	Waktu	Pengukuran Sensor Suhu	Pengukuran <i>Enviroment Meter</i>	<i>Error</i>
1	09.30 WIB	30.4 °C	29.4 °C	3,2 %
2	09.45 WIB	30.8 °C	29.7 °C	3,5 %
3	10.00 WIB	31.1 °C	30 °C	3,2 %
4	10.15 WIB	32.2 °C	31 °C	3,7 %
5	10.30 WIB	33.4 °C	31.4 °C	5,9 %
6	10.45 WIB	32.7 °C	31.7 °C	3 %
7	11.00 WIB	33.8 °C	31.8 °C	5,9 %
8	11.15 WIB	33.9 °C	31.9 °C	5,8 %
9	11.30 WIB	33.7 °C	31.4 °C	6,8 %
10	11.45 WIB	33.6 °C	31.1 °C	7,4 %
11	12.00 WIB	33.2 °C	31.7 °C	4,5 %
Rata-rata				4,8 %

Berikut merupakan hasil grafik pada Pengujian sensor suhu pada air putih:



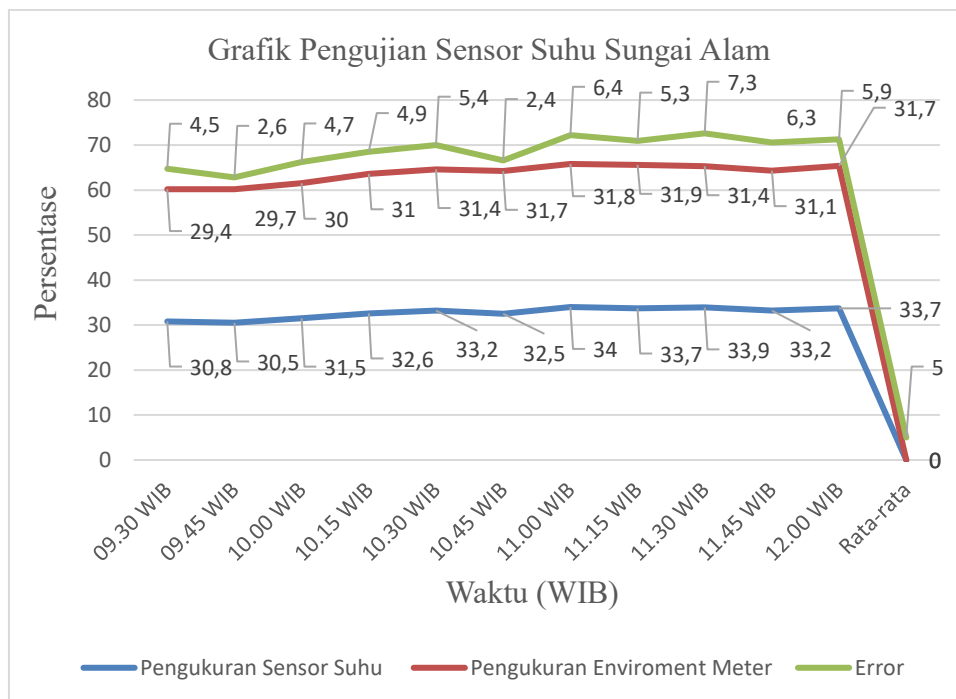
Gambar 11 Grafik Pengujian sensor suhu pada air putih

Grafik pengujian sensor suhu air putih menunjukkan perbandingan antara hasil pengukuran suhu menggunakan sensor suhu dan environment meter pada rentang waktu dari pukul 09.30 WIB hingga 12.00 WIB. Dari grafik terlihat bahwa nilai suhu yang terbaca oleh sensor suhu cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan environment meter. Hasil pengukuran sensor suhu berkisar antara 30,4°C hingga 33,2°C, sedangkan environment meter menunjukkan kisaran 29,4°C hingga 31,7°C. Selisih antara kedua alat ini dihitung dalam bentuk persentase error, yang juga ditampilkan dalam grafik. Error tertinggi tercatat pada pukul 11.45 WIB sebesar 7,4%, sedangkan error terendah terjadi pada pukul 09.30 dan 10.00 WIB sebesar 3,2%. Rata-rata error dari seluruh pengujian adalah sebesar 4,8%, yang menunjukkan bahwa sensor suhu masih cukup akurat untuk digunakan, meskipun pada beberapa waktu diperlukan kalibrasi untuk menekan nilai kesalahan pengukuran.

TABEL 2 HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU SUNGAI ALAM

No	Waktu	Pengukuran Sensor Suhu	Pengukuran Enviroment Meter	Error
1	09.30 WIB	30.8 °C	29.4 °C	4,5 %
2	09.45 WIB	30.5 °C	29.7 °C	2,6 %
3	10.00 WIB	31.5 °C	30 °C	4,7 %
4	10.15 WIB	32.6 °C	31 °C	4,9 %
5	10.30 WIB	33.2 °C	31.4 °C	5,4 %
6	10.45 WIB	32.5 °C	31.7 °C	2,4 %
7	11.00 WIB	34 °C	31.8 °C	6,4 %
8	11.15 WIB	33.7 °C	31.9 °C	5,3 %
9	11.30 WIB	33.9 °C	31.4 °C	7,3 %
10	11.45 WIB	33.2 °C	31.1 °C	6,3 %
11	12.00 WIB	33.7 °C	31.7 °C	5,9 %
Rata-rata				5,0 %

Berikut gambar grafik Pengujian Sensor suhu Sungai Alam:



Gambar 12 grafik Pengujian Sensor suhu Sungai Alam

Grafik pengujian sensor suhu di Sungai Alam menunjukkan pembacaan suhu dari sensor berada antara 30,8°C hingga 33,9°C, sedangkan alat environment meter mencatat 29,4°C hingga 31,7°C. Nilai error bervariasi dari 2,4% hingga 7,3%, dengan rata-rata error sebesar 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang masih dapat diterima untuk pengukuran suhu air di alam, meskipun fluktuasi error kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti sinar matahari atau arus air. Kalibrasi berkala tetap diperlukan untuk menjaga keakuratan sensor.

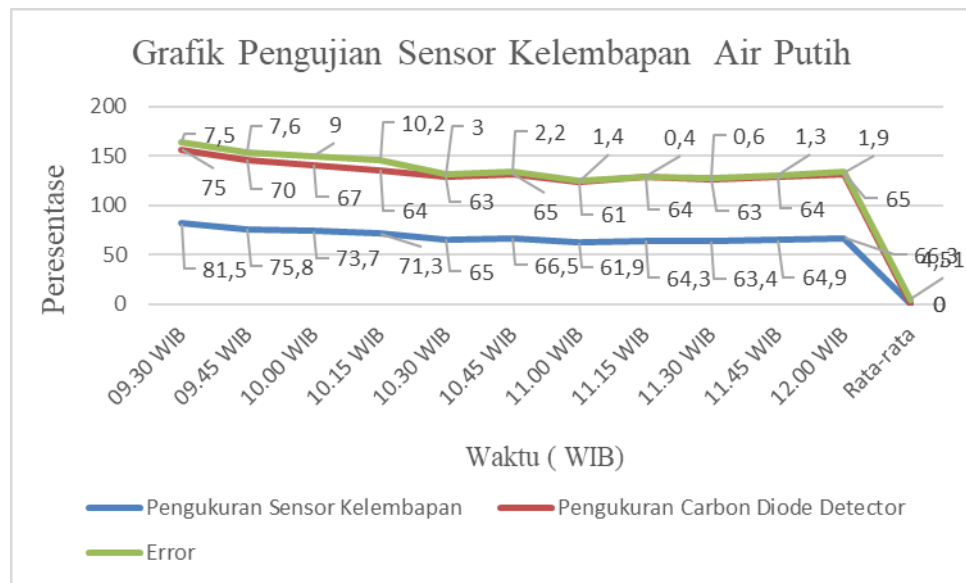
b. Pengujian Sensor Kelembapan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sensor kelembapan yang digunakan bekerja atau tidak. Hasil pengujian sensor kelembapan air putih dapat dilihat pada Tabel 3 dan pengujian sensor sungai alam dapat dilihat pada Tabel 4

TABEL 3 HASIL PENGUJIAN SENSOR KELEMBAPAN AIR PUTIH

No	Waktu	Pengukuran Sensor Kelembapan	Pengukuran Carbon Diode Detector	Error
1	09.30 WIB	81,5 %	75 %	7,5 %
2	09.45 WIB	75,8 %	70 %	7,6 %
3	10.00 WIB	73,7 %	67 %	9 %
4	10.15 WIB	71,3 %	64 %	10,2 %
5	10.30 WIB	65 %	63 %	3 %
6	10.45 WIB	66,5 %	65 %	2,2 %
7	11.00 WIB	61,9 %	61 %	1,4 %
8	11.15 WIB	64,3 %	64 %	0,4 %
9	11.30 WIB	63,4 %	63%	0,6 %
10	11.45 WIB	64,9 %	64 %	1,3 %
11	12.00 WIB	66,3 %	65 %	1,9 %
Rata-rata				4,51 %

Berikut Grafik pengujian Sensor kelembapan Air Putih pada di bawah ini:



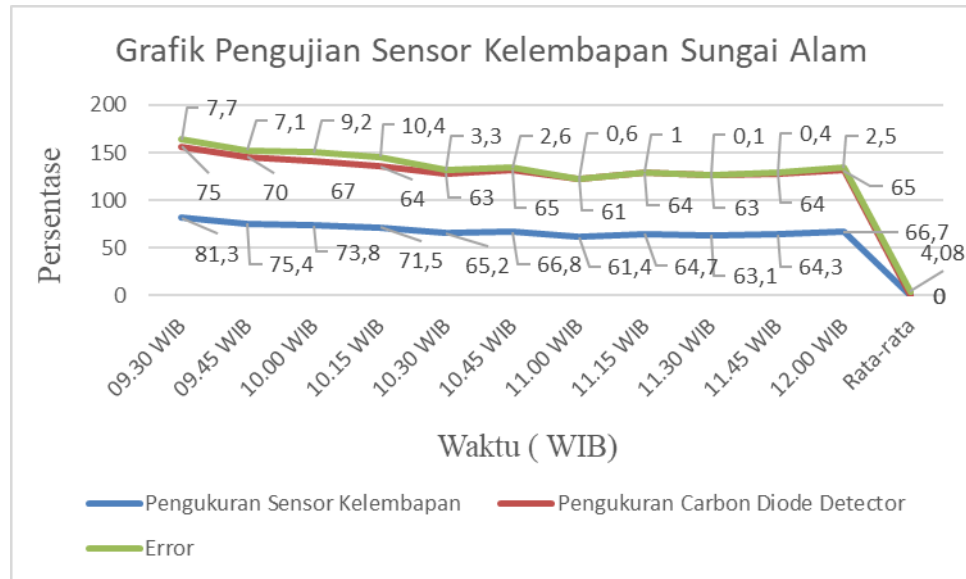
Gambar 13 grafik Pengujian Sensor kelembapan air putih

Grafik pengujian sensor kelembapan air putih menunjukkan tren penurunan kelembapan dari 81,5% menjadi 64,9%, sejalan dengan alat referensi Carbon Dioxide Detector yang menurun dari 75% menjadi 65%. Nilai error antara keduanya bervariasi antara 0,6% hingga 10,2%, dengan rata-rata sebesar 1,9%. Meskipun terjadi deviasi pada beberapa waktu, sensor tetap menunjukkan performa yang cukup baik untuk monitoring kelembapan, dengan evaluasi dan kalibrasi berkala disarankan guna menjaga akurasi pengukuran.

TABEL 4 HASIL PENGUJIAN SENSOR KELEMBAPAN SUNGAI ALAM

No	Waktu	Pengukuran Sensor Kelembapan	Pengukuran Carbon Diode Detector	Error
1	09.30 WIB	81,3 %	75 %	7,7 %
2	09.45 WIB	75,4 %	70 %	7,1 %
3	10.00 WIB	73,8 %	67 %	9,2 %
4	10.15 WIB	71,5 %	64 %	10,4 %
5	10.30 WIB	65,2 %	63 %	3,3 %
6	10.45 WIB	66,8 %	65 %	2,6 %
7	11.00 WIB	61,4 %	61 %	0,6 %
8	11.15 WIB	64,7 %	64 %	1 %
9	11.30 WIB	63,1 %	63%	0,1 %
10	11.45 WIB	64,3 %	64 %	0,4 %
11	12.00 WIB	66,7 %	65 %	2,5 %
Rata-rata				4,08 %

Berikut Grafik Pengujian Sensor Kelembapan Sungai alam di bawah ini:



Gambar 14 Grafik Pengujian Sensor Kelembapan Sungai alam

Grafik pengujian sensor kelembapan air di Sungai Alam menunjukkan penurunan nilai kelembapan dari 81,3% menjadi 64,3%, sejalan dengan alat referensi Carbon Dioxide Detector yang menurun dari 75% menjadi 65%. Selisih antara kedua alat menghasilkan tingkat error bervariasi, dengan error tertinggi 10,4% dan terendah 0,1%, serta rata-rata error sebesar 4,08%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor cukup akurat untuk pemantauan lingkungan, meskipun fluktuasi error menandakan pentingnya kalibrasi dan pemeliharaan berkala.

c. Pengujian Sensor Api.

Sensor api adalah sensor yang paling sensitif dan cepat dalam penerimaan data dibandingkan ketiga sensor lainnya. Sensor api menggunakan inframerah dalam mendeteksi cahaya api sehingga semakin besar sumber api maka akan semakin jauh juga jarak deteksinya. Hasil pengujian sensor api dapat dilihat pada Tabel 5.

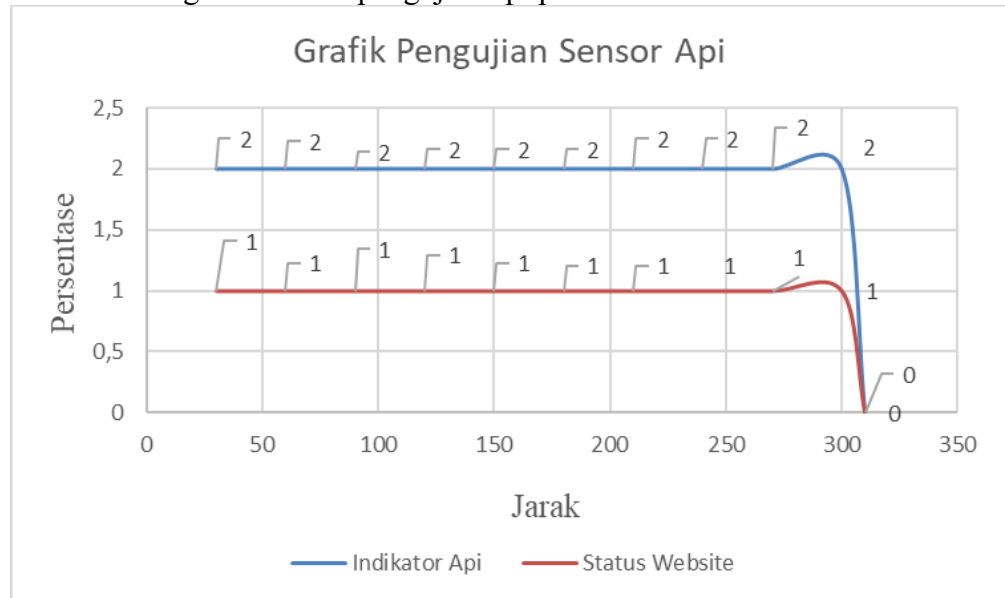
TABEL 5 HASIL PENGUJIAN SENSOR API

No	Jarak	Indikator Api	Status Website
1	30 cm	ON	Ada api
2	60 cm	ON	Ada api
3	90 cm	ON	Ada api
4	120 cm	ON	Ada api
5	150 cm	ON	Ada api
6	180 cm	ON	Ada api
7	210 cm	ON	Ada api

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data bahwa sensor api memberikan respon berupa indikator "ON" dari jarak 30 cm hingga 300 cm, yang menandakan bahwa keberadaan api terdeteksi oleh sensor dalam rentang tersebut. Status yang tercantum pada website juga menunjukkan bahwa dalam rentang jarak ini api masih terdeteksi "Ada api". Namun, pada jarak 310 cm, indikator sensor berubah menjadi "OFF", dan status website menunjukkan "Tidak ada api". Hal ini mengindikasikan bahwa jarak maksimal efektif sensor dalam mendeteksi api adalah sekitar 300 cm. Pengujian ini menunjukkan kinerja sensor yang konsisten dalam mendeteksi api

hingga batas jangkauan tertentu, yang dapat menjadi acuan penting dalam penerapannya di sistem deteksi kebakaran.

Berikut hasil grafik sensor pengujian api pada tabel di atas:



Gambar 15 Grafik Pengujian Sensor api

Grafik menunjukkan bahwa sensor api mampu mendeteksi keberadaan api secara konsisten dari jarak 30 cm hingga 300 cm, ditandai dengan indikator bernilai 2 (ON) dan status website bernilai 1 (ada api). Pada jarak 310 cm, kedua indikator berubah menjadi 0, menandakan sensor tidak lagi mendeteksi api. Hal ini membuktikan bahwa jarak maksimal efektif deteksi sensor adalah 300 cm, dengan respon sensor dan sistem website yang berjalan konsisten.

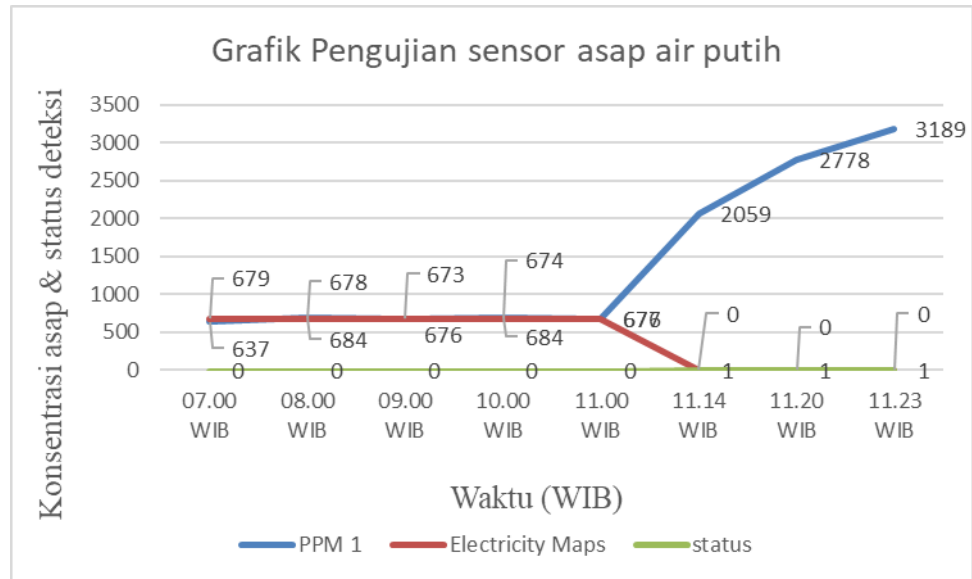
d. Pengujian Sensor Asap.

Sensor asap pada penelitian ini menggunakan sensor gas MQ-4, sensor gas sensitif terhadap karbon monoksida hal ini sangat cocok dalam mendeteksi asap pada kebakaran dikarenakan asap pada kebakaran menghasilkan adanya gas karbon monoksida. Hasil pengujian sensor asap Air Putih dapat dilihat pada Tabel 6 dan pengujian sensor asap Sungai Alam dapat dilihat pada Tabel 7.

TABEL 6 HASIL PENGUJIAN SENSOR ASAP AIR PUTIH

No	Waktu	PPM 1	Electricity Maps	Keterangan
1	07.00 WIB	637 PPM	679 PPM	Tanpa asap
2	08.00 WIB	684 PPM	678 PPM	Tanpa asap
3	09.00 WIB	676 PPM	673 PPM	Tanpa asap
4	10.00 WIB	684 PPM	674 PPM	Tanpa asap
5	11.00 WIB	676 PPM	677 PPM	Tanpa asap
6	11.14 WIB	2059 PPM	-	Ada asap
7	11.20 WIB	2778 PPM	-	Ada asap
8	11.23 WIB	3189 PPM	-	Ada asap

Berikut grafik pengujian sensor asap air putih:



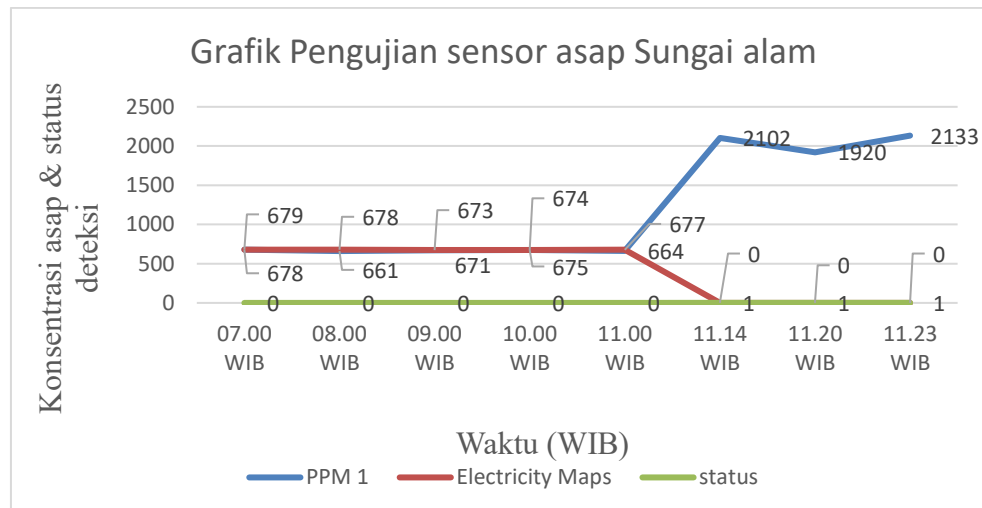
Gambar 16 Grafik Pengujian Sensor asap air putih

Grafik menunjukkan pengukuran konsentrasi asap menggunakan sensor MQ-4 dan dibandingkan dengan data dari Electricity Maps. Dari pukul 07.00 hingga 11.00 WIB, nilai PPM stabil di kisaran 637–684 dan status deteksi menunjukkan "tidak ada asap". Namun, mulai pukul 11.14 WIB terjadi lonjakan tajam hingga 3189 PPM pada pukul 11.23 WIB, disertai perubahan status menjadi "ada asap". Lonjakan ini membuktikan bahwa sensor mampu mendeteksi keberadaan asap secara akurat dan responsif terhadap peningkatan konsentrasi karbon monoksida di udara.

TABEL 7 HASIL PENGUJIAN SENSOR ASAP SUNGAI ALAM

No	Waktu	PPM 1	Electricity Maps	Keterangan
1	07.00 WIB	678 PPM	679 PPM	Tanpa asap
2	08.00 WIB	661 PPM	678 PPM	Tanpa asap
3	09.00 WIB	671 PPM	673 PPM	Tanpa asap
4	10.00 WIB	675 PPM	674 PPM	Tanpa asap
5	11.00 WIB	664 PPM	677 PPM	Tanpa asap
6	11.14 WIB	2102 PPM	-	Ada asap
7	11.20 WIB	1920 PPM	-	Ada asap
8	11.23 WIB	2133 PPM	-	Ada asap

Berikut grafik pengujian sensor asap sungai alam:



Gambar 16 Grafik Pengujian Sensor asap di sungai alam

Grafik pengujian sensor asap di Sungai Alam menunjukkan bahwa dari pukul 07.00 hingga 11.00 WIB, nilai PPM stabil di kisaran 661–678 dan status deteksi tetap 0, menandakan tidak ada asap. Nilai pembandingan dari Electricity Maps juga mendukung hasil tersebut. Namun, mulai pukul 11.14 WIB terjadi lonjakan PPM hingga melebihi 2000, yang menyebabkan status berubah menjadi 1 atau "ada asap". Meski data pembandingan tidak tersedia pada waktu lonjakan, sensor berhasil mendeteksi asap secara mandiri. Hal ini membuktikan bahwa sensor bekerja akurat dan responsif terhadap konsentrasi asap yang melebihi ambang batas sekitar 1000 PPM.

*C. Pengujian Alat Keseluruhan*

Pengujian sistem pendeteksi kebakaran hutan berbasis fuzzy logic dilakukan untuk memastikan keberhasilan alat secara keseluruhan setelah tahap perakitan dan pengujian tiap komponen. Sebelum alat dijalankan, seluruh komponen diberi tegangan sesuai ketentuan agar berfungsi dengan baik. Panel surya diletakkan di luar ruangan sebagai sumber daya utama. Pengujian dilakukan di dua lokasi, yaitu wilayah Air Putih dan Sungai Alam, dengan hasil tercantum pada Tabel 8 dan Tabel 9.

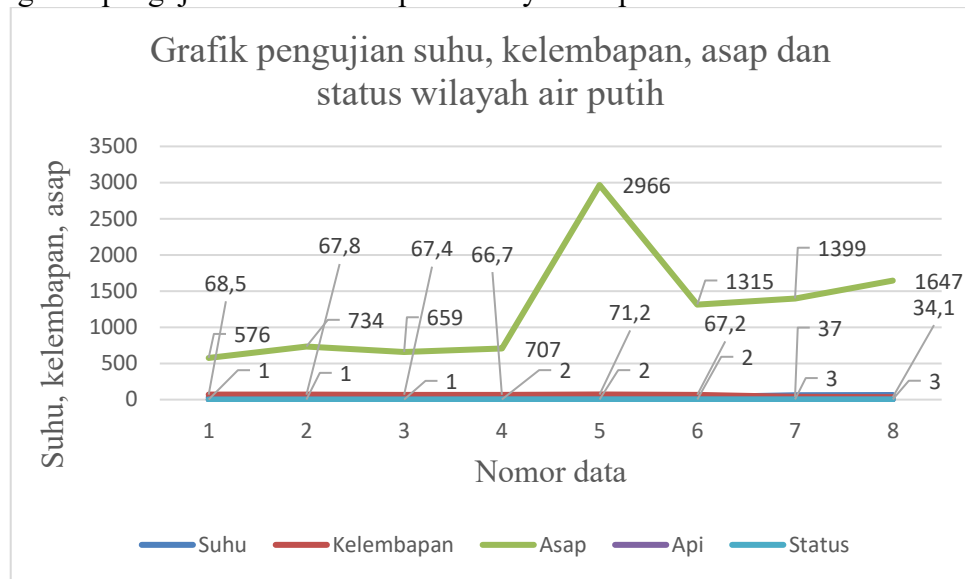
TABEL 8 HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN WILAYAH AIR PUTIH

No	Suhu	Kelembapan	Asap	Api	Status
1	33,2 °C	68,5 %	576 PPM	0	Aman
2	33,6 °C	67,8 %	734 PPM	0	Aman
3	33,7 °C	67,4 %	659 PPM	0	Aman
4	39,8 °C	66,7 %	707 PPM	0	Waspada
5	34,8 °C	71,2 %	2966 PPM	0	Waspada
6	34,2 °C	67,2 %	1315 PPM	0	Waspada
7	61,7 °C	37 %	1399 PPM	0	Berbahaya
8	64 °C	34,1 %	1647 PPM	1	Berbahaya

Berdasarkan Tabel 8, hasil pengujian di wilayah Air Putih menunjukkan variasi tingkat risiko kebakaran. Tiga titik awal berada dalam kondisi “AMAN” dengan suhu sekitar 33°C, kelembapan tinggi, dan kadar asap rendah tanpa api. Titik ke-4 hingga ke-6 berstatus “WASPADA” akibat peningkatan suhu hingga 39,8°C dan kadar asap tinggi meskipun belum terdeteksi api. Titik ke-7 dan ke-8 masuk kategori “BERBAHAYA” karena suhu ekstrem di atas 61°C, kelembapan sangat rendah, kadar asap tinggi, dan adanya api. Hasil ini menunjukkan

bahwa suhu, kelembapan, dan asap adalah indikator penting dalam menentukan tingkat kewaspadaan terhadap potensi kebakaran.

Berikut grafik pengujian keseluruhan pada wilayah air putih:



Gambar 17 grafik pengujian keseluruhan pada wilayah air putih

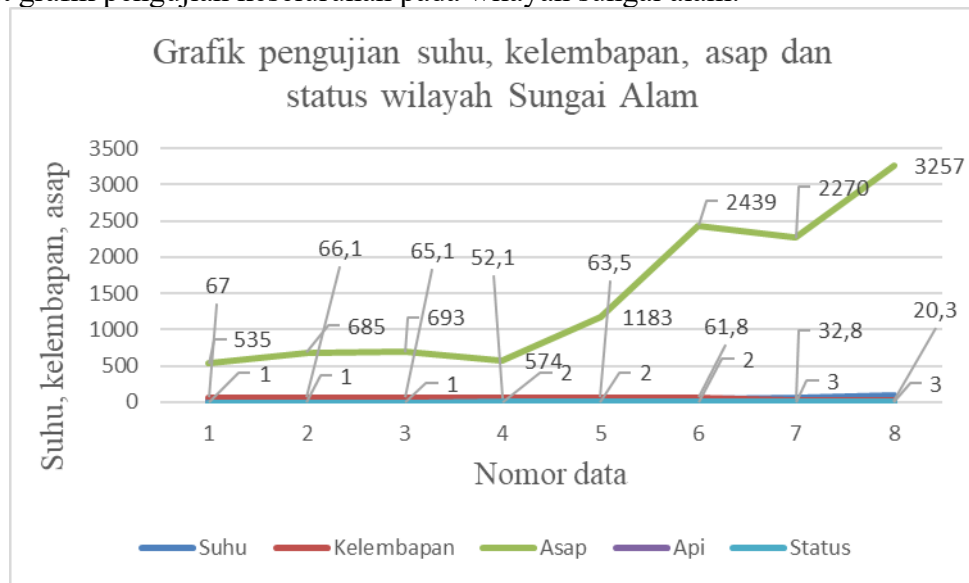
Grafik pengujian di wilayah Air Putih menunjukkan hasil dari delapan titik pengamatan berdasarkan lima parameter: suhu, kelembapan, konsentrasi asap, status, dan indikator api. Titik 1–3 menunjukkan kondisi aman dengan suhu sekitar 33°C, kelembapan tinggi, dan asap rendah. Titik 4–6 mengalami peningkatan suhu hingga 39,8°C dan lonjakan asap, menyebabkan status berubah menjadi waspada meski belum terdeteksi api. Titik 7 dan 8 menunjukkan kondisi berbahaya, dengan suhu di atas 61°C, asap tinggi, dan indikator api aktif. Grafik ini menegaskan hubungan kuat antara peningkatan suhu dan asap dengan perubahan status kewaspadaan serta deteksi keberadaan api.

TABEL 9 HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN WILAYAH SUNGAI ALAM

No	Suhu	Kelembapan	Asap	Api	Status
1	33,4 °C	67 %	535 PPM	0	Aman
2	33,1 °C	66,1 %	685 PPM	0	Aman
3	33,3 °C	65,1 %	693 PPM	0	Aman
4	38,8 °C	52,1 %	574 PPM	0	Waspada
5	33,6 °C	63,5 %	1183 PPM	0	Waspada
6	34,3 °C	61,8 %	2439 PPM	0	Waspada
7	58,7 °C	32,8 %	2270 PPM	0	Berbahaya
8	98,6 °C	20,3 %	3257 PPM	1	Berbahaya

Berdasarkan Tabel 9, pengujian di wilayah Sungai Alam menunjukkan variasi tingkat risiko kebakaran. Titik 1–3 tergolong “AMAN” dengan suhu sekitar 33°C, kelembapan di atas 65%, asap rendah, dan tanpa deteksi api. Titik 4–6 masuk kategori “WASPADA” akibat suhu meningkat hingga 38,8°C, kelembapan turun ke 52,1%, dan asap mencapai 2439 PPM, meskipun belum terdeteksi api. Titik 7 dan 8 menunjukkan kondisi “BERBAHAYA” dengan suhu ekstrem hingga 98,6°C, kelembapan sangat rendah di bawah 33%, kadar asap tinggi, dan deteksi api pada titik ke-8. Data ini menunjukkan bahwa kombinasi suhu tinggi, kelembapan rendah, dan asap tinggi merupakan indikator utama risiko kebakaran.

Berikut grafik pengujian keseluruhan pada wilayah sungai alam:



Gambar 18 grafik pengujian keseluruhan pada wilayah air putih

Grafik pengujian sensor di wilayah Sungai Alam menunjukkan bahwa pada titik 1–3 kondisi masih aman dengan suhu sekitar 33°C, kelembapan tinggi di atas 65%, asap rendah, dan tidak ada api terdeteksi. Pada titik 4–6 terjadi peningkatan suhu hingga 38,8°C, asap hingga 2439 PPM, dan kelembapan menurun ke 52,1%, sehingga status wilayah berubah menjadi waspada meskipun belum ada api. Titik 7 dan 8 menunjukkan kondisi berbahaya, dengan suhu ekstrem hingga 98,6°C, kelembapan sangat rendah, asap sangat tinggi, serta deteksi keberadaan api. Grafik ini memperlihatkan hubungan kuat antara peningkatan suhu dan asap, serta penurunan kelembapan, dengan naiknya tingkat bahaya, dan dapat digunakan sebagai alat pemantauan potensi kebakaran secara real-time.

#### IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian dan pengujian Tugas Akhir ini telah dijelaskan bagaimana cara kerja Sistem Prediksi Kebakaran Hutan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka penulis dapat menyimpulkan hal sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang menggunakan kombinasi sensor suhu (DHT22), sensor asap (MQ-4), dan sensor api (Flame Sensor) yang dihubungkan dengan NodeMCU ESP8266 berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil mendeteksi potensi kebakaran hutan secara real-time.
2. Metode *Fuzzy Logic* mampu mengolah data sensor dan mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran (Aman, Waspada, dan Berbahaya) berdasarkan kombinasi nilai suhu, asap, dan deteksi api dengan akurasi yang baik dan hasil yang logis.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki rata-rata error sekitar 4,8%–5%, sensor kelembapan sekitar 4,1%–4,5%, dan sensor api dapat mendeteksi api hingga jarak 300 cm secara akurat.
4. Sistem berhasil memberikan peringatan dini melalui jaringan internet ke website, sehingga memudahkan pemantauan kondisi hutan dan memberikan informasi penting secara cepat kepada pihak berwenang.

Dengan adanya peringatan dini dan monitoring yang akurat, sistem ini diharapkan dapat membantu mengurangi risiko kerugian akibat kebakaran hutan serta mendukung tindakan cepat dan tepat oleh petugas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Judul untuk ucapan terima kasih dan referensi tidak diberi nomor. Terima kasih disampaikan kepada Tim *Jurnal Elektro Polbeng* yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

#### REFERENSI

- [1] D. Husen, D. Sandi, S. Bumbungan, Kusrini, and Kusnawi, "Analisis Prediksi Kebakaran Hutan dengan Menggunakan Algoritma Random Forest Classifier," *J. Nuansa Inform.*, vol. 16, no. 1, pp. 150–155, 2022.
- [2] F. Rasyid, "Permasalahan dan Dampak Kebakaran Hutan," *J. Lingk. Widyaiswara*, vol. 1, no. 4, pp. 47–59, 2014.
- [3] W. Adinugroho, I. N. N. Suryadiputra, B. H. Saharjo, and L. Siboro, *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan Dan Lahan Gambut*. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada, Bogor, 2005.
- [4] R. Mahajan, "Application of Fuzzy Logic in Automated Lighting System in a University: A Case Study," *Int. J. Eng. Manuf.*, vol. 5, no. 3, pp. 11–19, 2015.