

Implementasi dan Uji Coba Prototipe Early Warning Sistem Kebakaran Hutan dengan Integrasi Fiber Optic

1st Verenz Theana

School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
verenztheana@telkomuniversity.ac.id

2nd Uke Kurniawan Usman

School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ukeusman@telkomuniversity.ac.id

3rd Rizky Satria

School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
rizkysat@telkomuniversity.ac.id

Kebakaran hutan di Indonesia merupakan bencana tahunan yang memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan, kesehatan, dan perekonomian. Deteksi dini menjadi langkah krusial untuk meminimalkan kerugian, salah satunya melalui penerapan Early Warning System (EWS). Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan dan menguji prototipe EWS kebakaran hutan berbasis fiber optik dengan fokus pada kinerja sensor dalam mendeteksi suhu, kelembapan, dan konsentrasi asap pada berbagai kondisi lingkungan. Pengujian dilakukan menggunakan variasi jarak sensor terhadap sumber panas/asap (30–70 cm), kecepatan angin (normal, 1,0 m/s, 1,5 m/s, 2,0 m/s), serta waktu pengamatan (pagi, siang, malam). Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak, kecepatan angin, dan waktu pengamatan berpengaruh nyata terhadap parameter yang terukur. Sensor yang ditempatkan lebih dekat ke sumber panas/asap menghasilkan suhu dan konsentrasi asap yang lebih tinggi serta kelembapan yang lebih rendah. Peningkatan kecepatan angin mempercepat waktu respon deteksi sekaligus memengaruhi besarnya nilai yang terbaca. Sistem ini mampu mengirimkan data secara real-time melalui fiber optik dengan latensi rendah.

Kata kunci— Kebakaran hutan, Early Warning System, fiber optik, sensor DHT22, sensor MQ-2.

I. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan merupakan salah satu bencana yang kerap terjadi di Indonesia dan menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan, kesehatan, serta perekonomian. Baik yang disebabkan oleh faktor alam maupun ulah manusia, meningkatnya frekuensi dan luas area terdampak menuntut keberadaan sistem deteksi dini yang efektif. Berdasarkan data BMKG (2023), sepanjang tahun 2023 teridentifikasi lebih dari 40.000 titik api di berbagai wilayah Indonesia, dengan Provinsi Riau, Kalimantan Tengah, dan Sumatera Selatan sebagai daerah yang paling terdampak. Peristiwa tersebut menghanguskan lebih dari 150.000 hektar lahan dan berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon di kawasan Asia Tenggara [1]. Kondisi ini menegaskan urgensi pengembangan sistem yang mampu memberikan informasi secara cepat dan akurat untuk mencegah meluasnya kebakaran.

Early Warning System (EWS) memiliki peran penting dalam memantau kondisi lingkungan guna mendeteksi potensi kebakaran sejak tahap awal. Parameter seperti suhu udara, kelembapan, dan konsentrasi asap dapat menjadi

indikator awal terjadinya kebakaran. Faktor-faktor seperti jarak dari sumber panas, kecepatan angin, serta waktu pengukuran (pagi, siang, malam) memengaruhi nilai parameter tersebut sehingga penting untuk diketahui dalam upaya meningkatkan akurasi deteksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan menguji prototipe EWS kebakaran hutan dengan mengamati pengaruh jarak, kecepatan angin, serta waktu pengukuran terhadap nilai suhu, kelembapan, dan konsentrasi asap. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk memahami hubungan ketiga faktor tersebut dengan parameter lingkungan, sehingga dapat mendukung peningkatan efektivitas sistem peringatan dini kebakaran hutan.

II. KAJIAN TEORI

A. Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan merupakan kejadian terbakarnya vegetasi di wilayah hutan yang tidak dapat dikendalikan, yang dapat dipicu oleh faktor alam seperti musim kemarau panjang, sambaran petir, dan hembusan angin kencang, maupun oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan dengan pembakaran. Fenomena ini tergolong bencana lingkungan karena api memiliki kemampuan merusak yang besar, terlebih ketika merambat melalui material yang mudah terbakar seperti batang pohon, dedaunan kering, kayu, serta bahan organik lainnya. Dampaknya tidak hanya mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengancam keberlangsungan keanekaragaman hayati, tetapi juga berimplikasi pada penurunan kualitas udara, gangguan kesehatan, kerugian ekonomi, dan degradasi lingkungan secara luas [2].

B. Early Warning System

Early Warning System (EWS) adalah suatu rangkaian mekanisme yang dirancang untuk memberikan informasi tentang kemungkinan terjadinya bencana atau tanda-tanda alam yang berpotensi menimbulkan ancaman. Sistem ini bertujuan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dengan menyediakan pemahaman terkait risiko bencana, melakukan pemantauan terhadap kondisi yang berpotensi berbahaya, serta menyampaikan peringatan secara cepat dan tepat. Dengan adanya EWS, masyarakat diharapkan dapat mengambil langkah antisipatif sebelum bencana terjadi sehingga dampak yang ditimbulkan dapat diminimalkan [3].

C. Fiber Optic

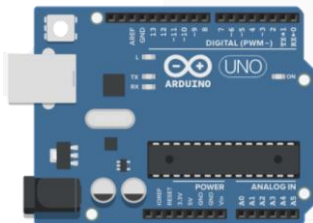
Fiber Optic adalah media penghantar data yang tersusun dari kaca atau plastik dengan ukuran sangat tipis, memiliki diameter sekitar 120 mikrometer. Fungsinya adalah memindahkan sinyal cahaya dari satu tempat ke tempat lain dengan kecepatan transmisi yang sangat tinggi. Performa tersebut didasarkan pada prinsip pembiasan cahaya, di mana sumber cahaya yang digunakan untuk proses pengiriman sinyal biasanya berasal dari LED atau laser.

Selain memiliki kecepatan transmisi yang tinggi, *fiber optic* juga unggul dalam hal kapasitas dan ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik. Hal ini membuatnya sangat andal untuk digunakan pada sistem komunikasi jarak jauh maupun jaringan data berkecepatan tinggi. Material inti yang dilapisi cladding dengan indeks bias berbeda memungkinkan cahaya tetap terpantul di dalam kabel sehingga meminimalkan kehilangan sinyal selama proses transmisi. Dengan karakteristik tersebut, *fiber optic* menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi, termasuk jaringan internet, telekomunikasi, dan sistem peringatan dini berbasis sensor.[4]

D. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet dan mampu mengumpulkan, mengirimkan, serta bertukar data tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Perangkat tersebut dapat berupa sensor, aktuator, peralatan elektronik, atau sistem lain yang dilengkapi teknologi komunikasi untuk berinteraksi satu sama lain. IoT memungkinkan integrasi antara dunia fisik dan digital, sehingga proses pemantauan, pengendalian, dan otomatisasi dapat dilakukan secara efisien dan real-time[5].

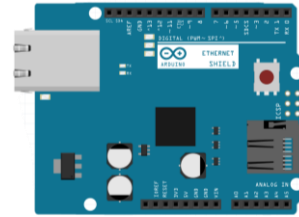
E. Arduino Uno



Gambar 1.
(Arduino Uno)

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang dirancang untuk memproses dan mengendalikan data dari berbagai sensor maupun perangkat elektronik. Papan ini memiliki 14 pin digital input/output, 6 input analog, oscillator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack daya, dan tombol reset. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE yang mendukung bahasa C/C++ dengan pustaka bawaan yang memudahkan pengembangan. Arduino Uno banyak digunakan pada proyek otomatisasi dan Internet of Things (IoT) karena mudah dioperasikan, bersifat open-source, dan kompatibel dengan berbagai modul seperti sensor suhu, kelembapan, asap, dan aktuator lainnya [6].

F. Ethernet shield W5100



Gambar 2
(Ethernet Shield W5100)

Ethernet Shield adalah modul tambahan yang berfungsi untuk menghubungkan Arduino dengan jaringan komputer. Modul ini memakai chip Wiznet W5100 dan didukung oleh Ethernet library, sehingga Arduino bisa berperan sebagai server di jaringan lokal. Dalam penggunaannya, Ethernet Shield menjadi penghubung komunikasi antara Arduino dan web browser, memungkinkan pengawasan dan pengendalian perangkat elektronik secara langsung melalui jaringan internet atau jaringan lokal.

G. Sensor DHT22



Gambar 3
(Sensor DHT22)

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan kemampuan membaca suhu dalam rentang -40°C hingga 80°C dan kelembapan relatif antara 0% hingga 100%. Data hasil pengukuran dikirim dalam format digital, sehingga memudahkan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino [7].

H. Sensor MQ-2



Gambar 4
(Sensor MQ-2)

MQ-2 merupakan jenis sensor pendeteksi gas yang berfungsi untuk mengidentifikasi keberadaan asap serta berbagai gas yang mudah terbakar, seperti LPG, metana, propana, hidrogen, dan sejenisnya. Cara kerjanya didasarkan pada perubahan nilai resistansi elemen sensornya ketika terpapar gas target. Perangkat ini memiliki tingkat sensitivitas yang baik, respons yang cepat, serta mampu menghasilkan keluaran dalam bentuk sinyal analog maupun digital [8].

III. METODE

A. Flowchart Alur kerja Sistem



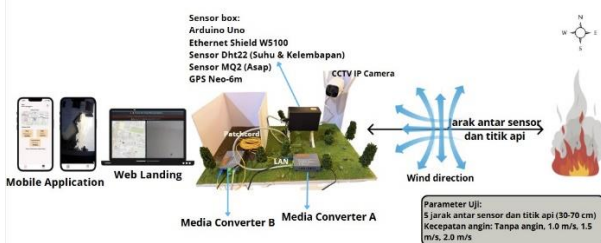
Gambar 5

(Flowchart Alur Kerja Sistem)

Flowchart pada Gambar X memperlihatkan alur kerja sistem *Early Warning System* (EWS) kebakaran hutan yang digunakan pada penelitian ini. Proses dimulai dengan inisialisasi perangkat, pembacaan data dari sensor DHT22 (suhu dan kelembapan) dan MQ-2 (asap), kemudian data diproses untuk menentukan status “Bahaya” atau “Tidak Bahaya.” Hasil pembacaan dikirim melalui jaringan fiber optik ke *web landing page* secara *real-time*, disimpan di *database*, dan memicu notifikasi pada aplikasi mobile.

Pengujian difokuskan pada kinerja sensor dalam mendeteksi perubahan suhu, kelembapan, dan konsentrasi asap pada berbagai kondisi, meliputi variasi jarak sensor terhadap sumber panas/asap, kecepatan angin, serta waktu pengamatan (pagi, siang, malam). Fiber optik berfungsi sebagai media transmisi data, namun tidak menjadi fokus pengujian.

B. Skema Pengujian Sistem



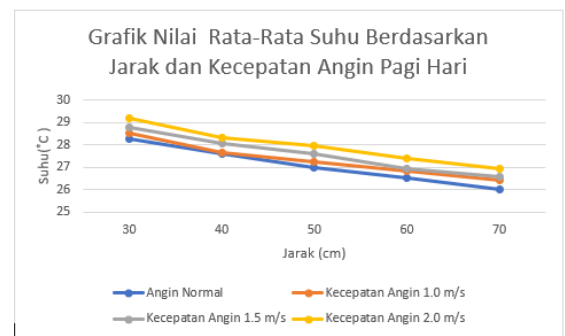
Gambar 6

(Skema Pengujian Sistem)

Pengujian sistem deteksi dini kebakaran hutan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengenali perubahan kondisi lingkungan yang mengindikasikan kebakaran. Sensor DHT22 (suhu dan kelembapan) dan MQ-2 (asap) ditempatkan pada lima jarak berbeda (30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, dan 70 cm) dari sumber asap buatan yang berfungsi sebagai simulasi titik api, dengan empat variasi kecepatan angin (angin normal, 1.0 m/s, 1.5 m/s, dan 2.0 m/s) pada tiga waktu pengujian (pagi, siang, dan malam). Kondisi angin normal, yaitu kondisi tanpa adanya angin tambahan yang mengarahkan asap secara langsung ke sensor. Pengukuran kecepatan angin dilakukan menggunakan anemometer yang diarahkan ke sumber angin tambahan, sehingga hembusan angin tertuju ke arah sensor dan anemometer secara bersamaan untuk memastikan nilai kecepatan yang akurat. Seluruh sensor terhubung ke Arduino Uno dan Ethernet Shield W5100, lalu mengirimkan data melalui jaringan *fiber optic* ke pusat pemantauan dan ditampilkan secara *real-time* pada web dan aplikasi mobile.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

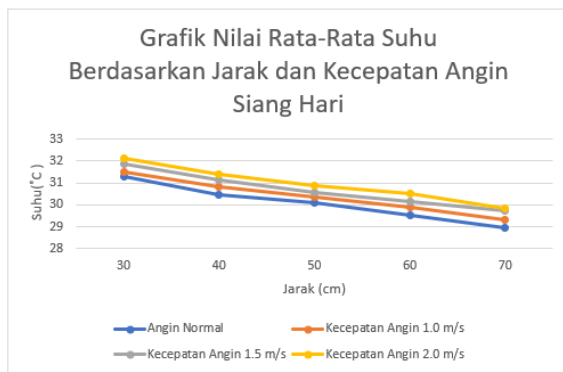
A. Pengukuran Nilai Suhu Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin



Gambar 7

(Pengukuran Nilai Suhu Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Pagi Hari)

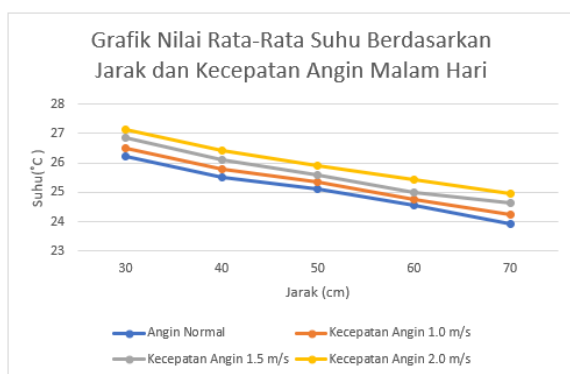
Hasil pengukuran suhu udara pada pagi hari (09.00) menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari sumber panas, suhu yang tercatat semakin rendah. Pada kondisi angin normal (tanpa angin tambahan yang mengarahkan asap ke sensor), suhu tertinggi tercatat 28,28°C pada jarak 30 cm dan terendah 26,03°C pada jarak 70 cm. Pola penurunan ini konsisten pada semua variasi kecepatan angin, di mana suhu lebih tinggi pada jarak dekat. Kecepatan angin juga memengaruhi hasil, dengan suhu meningkat seiring bertambahnya kecepatan. Misalnya, pada jarak 30 cm, suhu naik dari 28,28°C (angin normal) menjadi 29,18°C pada 2,0 m/s. Peningkatan ini dipengaruhi oleh percepatan perpindahan panas akibat hembusan angin, yang juga mempercepat waktu respon kenaikan suhu. Semakin besar kecepatan angin, semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kenaikan suhu, sedangkan jarak yang lebih jauh memerlukan waktu lebih lama untuk menunjukkan perubahan.



Gambar 8

(Pengukuran Nilai Suhu Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Siang Hari)

Berdasarkan pengukuran suhu udara pada siang hari (14.00), terlihat bahwa jarak dari sumber panas memengaruhi suhu yang tercatat. Pada angin normal, suhu tertinggi adalah 31,27°C pada jarak 30 cm dan terendah 28,95°C pada jarak 70 cm. Tren penurunan ini konsisten di semua variasi kecepatan angin. Misalnya, pada jarak 30 cm, suhu meningkat dari 31,27°C (angin normal) menjadi 32,12°C pada 2,0 m/s, sedangkan pada 40 cm naik dari 30,44°C menjadi 31,39°C. Peningkatan kecepatan angin terbukti mempercepat perpindahan panas ke titik pengukuran, sehingga suhu terukur menjadi lebih tinggi.

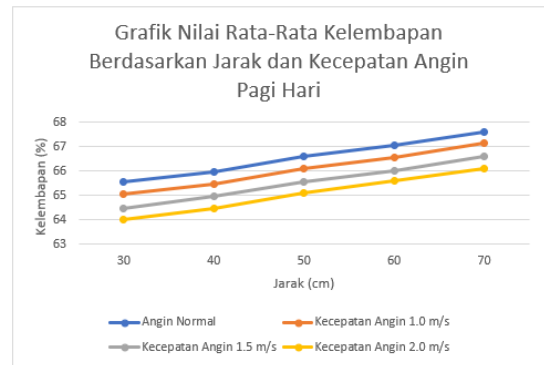


Gambar 9

(Pengukuran Nilai Suhu Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Malam Hari)

Hasil pengukuran suhu udara pada malam hari (19.30) menunjukkan bahwa jarak tetap menjadi faktor utama yang memengaruhi nilai suhu. Tanpa hembusan angin tambahan, suhu tertinggi tercatat 26,24°C pada jarak 30 cm dan terendah 23,91°C pada jarak 70 cm. Selisih suhu antar jarak lebih kecil dibandingkan pagi dan siang, menandakan pendinginan alami malam hari membuat distribusi panas lebih merata. Peningkatan kecepatan angin tetap berdampak pada kenaikan suhu, misalnya pada jarak 30 cm dari 26,24°C (tanpa angin) menjadi 27,13°C pada 2,0 m/s, dan pada 40 cm dari 25,53°C menjadi 26,44°C. Kenaikan ini relatif kecil karena suhu malam yang lebih rendah memperlambat perpindahan panas.

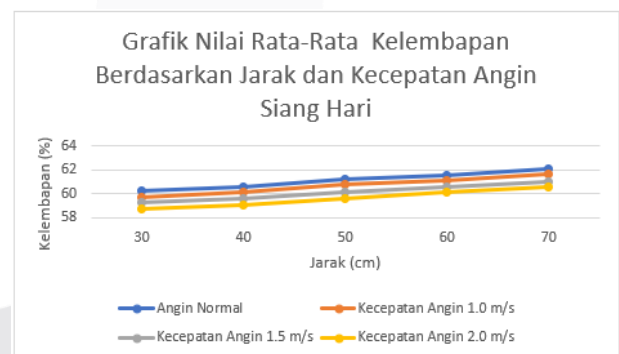
B. Pengukuran Nilai Kelembapan Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin



Gambar 10

(Pengukuran Nilai Kelembapan Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Pagi Hari)

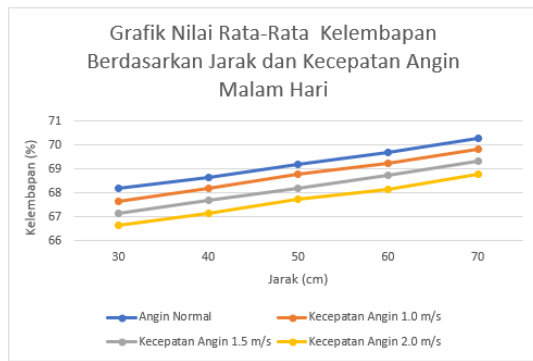
Pengukuran kelembapan udara pada pagi hari (09.00) menunjukkan bahwa jarak dari sumber panas memengaruhi nilai yang tercatat. Pada angin normal, kelembapan terendah terjadi di jarak 30 cm sebesar 65,56%, sedangkan tertinggi di jarak 70 cm mencapai 67,62%. Semakin jauh dari sumber panas, udara lebih lembap karena penguapan berkurang. Peningkatan kecepatan angin menurunkan kelembapan, misalnya pada jarak 30 cm dari 65,56% (angin normal) menjadi 64,03% pada 2,0 m/s. Pola ini juga terlihat pada jarak lainnya dan disebabkan oleh aliran angin yang mempercepat pelepasan uap air di sekitar sensor. Selain itu, tiupan angin yang lebih kencang membuat penurunan kelembapan terdeteksi lebih cepat, sedangkan jarak yang lebih jauh cenderung memerlukan waktu lebih lama untuk menunjukkan perubahan.



Gambar 11

(Pengukuran Nilai Kelembapan Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Siang Hari)

Hasil Pengukuran kelembapan udara di siang hari (14.00) memperlihatkan penurunan nilai seiring berkurangnya jarak dari sumber panas. Pada kondisi angin normal, kelembapan terendah tercatat 60,22% pada 30 cm dan tertinggi 62,04% pada 70 cm. Udara yang lebih dekat ke sumber panas mengalami penguapan lebih cepat sehingga kelembapannya menurun. Peningkatan kecepatan angin turut mempercepat penurunan ini, misalnya pada jarak 30 cm dari 60,22% menjadi 58,70% pada 2,0 m/s. Efek ini lebih terasa di siang hari karena suhu tinggi mempercepat penguapan, dan hembusan angin yang lebih kuat membuat perubahan kelembapan terdeteksi lebih cepat, sedangkan jarak yang lebih jauh memerlukan waktu lebih lama untuk menunjukkan perubahan.

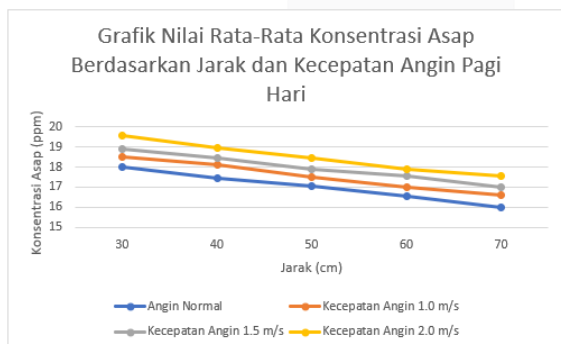


Gambar 12

(Pengukuran Nilai Kelembapan Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Malam Hari)

Pengukuran pada malam hari (19.30) menunjukkan bahwa perbedaan jarak sensor terhadap sumber panas memengaruhi tingkat kelembapan yang terukur. Dalam kondisi angin normal, kelembapan terendah tercatat 68,18% pada jarak 30 cm, sedangkan nilai tertinggi mencapai 70,27% pada jarak 70 cm. Kelembapan malam hari umumnya lebih tinggi daripada pagi dan siang karena suhu udara yang rendah memperlambat proses penguapan. Peningkatan kecepatan angin tetap menyebabkan penurunan kelembapan pada semua jarak, namun selisihnya relatif kecil akibat udara malam yang sudah jenuh uap air. Hembusan angin yang lebih kencang mempercepat terdeteksinya perubahan, sementara jarak yang lebih jauh membuat waktu respon menjadi lebih lama.

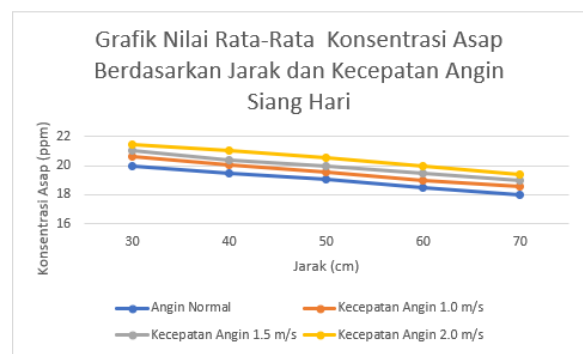
C. Pengukuran Nilai Konsentrasi Asap Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin



Gambar 13

(Pengukuran Nilai Konsentrasi Asap Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Pagi Hari)

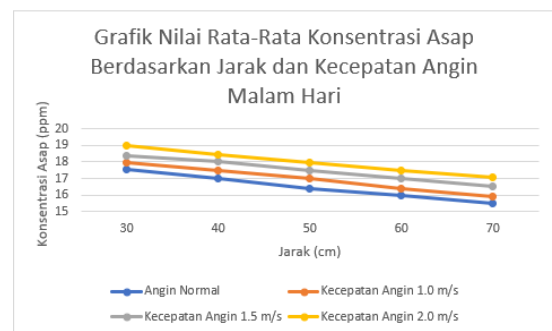
Pengukuran pada pagi hari (09.00) menunjukkan bahwa jarak berpengaruh terhadap konsentrasi asap yang terbaca sensor. Pada angin normal, nilai tertinggi tercatat 18,02 ppm di jarak 30 cm dan terendah 15,97 ppm di jarak 70 cm. Kedekatan sensor dengan sumber asap membuat partikel lebih terkonsentrasi, sedangkan pada jarak jauh asap cenderung menyebar. Kecepatan angin yang lebih tinggi meningkatkan nilai konsentrasi di semua jarak, karena aliran udara mendorong asap menuju sensor. Hembusan angin kencang juga mempercepat deteksi, sementara posisi sensor yang lebih jauh membutuhkan waktu lebih lama untuk menangkap perubahan.



Gambar 14

(Pengukuran Nilai Konsentrasi Asap Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Siang Hari)

Pengukuran konsentrasi asap siang hari (14.00) memperlihatkan nilai lebih tinggi pada jarak dekat. Nilai angin normal, tertinggi bernilai 20,01 ppm di 30 cm dan terendah 18,01 ppm di 70 cm. Peningkatan kecepatan angin menaikkan konsentrasi di semua jarak, misalnya pada 30 cm dari 20,01 ppm menjadi 21,41 ppm pada 2,0 m/s. Kondisi siang yang panas mempercepat pergerakan asap, membuat deteksi lebih cepat pada angin kencang, sementara jarak yang lebih jauh memerlukan waktu lebih lama untuk terdeteksi.



Gambar 15

(Pengukuran Nilai Konsentrasi Asap Berdasarkan Jarak dan Kecepatan Angin Malam Hari)

Pengukuran nilai konsentrasi asap pada saat malam hari (19.30) menunjukkan jika jarak sensor memengaruhi nilai yang terdeteksi. Pada angin normal, konsentrasi tertinggi tercatat 17,52 ppm di jarak 30 cm dan terendah 15,52 ppm di jarak 70 cm. Nilai yang lebih rendah dibanding siang hari ini disebabkan suhu malam yang dingin sehingga pergerakan asap melambat dan penyebarannya lebih merata. Peningkatan kecepatan angin tetap memberikan kenaikan konsentrasi di seluruh jarak, meski selisihnya relatif kecil akibat kelembapan udara yang tinggi. Hembusan angin kencang membantu membawa asap lebih cepat ke sensor, sementara jarak yang lebih jauh cenderung memperlambat deteksi perubahan konsentrasi.

V. KESIMPULAN

Implementasi dan uji coba prototipe Early Warning System (EWS) kebakaran hutan berbasis fiber optik menunjukkan bahwa jarak sensor, kecepatan angin, dan waktu pengamatan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil deteksi suhu, kelembapan, dan konsentrasi asap. Sensor yang ditempatkan lebih dekat ke sumber panas

atau asap cenderung mencatat suhu dan konsentrasi asap yang lebih tinggi, sementara kelembapan yang terukur menjadi lebih rendah. Sebaliknya, pada jarak yang lebih jauh, suhu dan konsentrasi asap menurun karena proses disipasi panas dan penyebaran partikel asap di udara, sedangkan kelembapan meningkat akibat paparan panas yang lebih kecil.

Selain itu, peningkatan kecepatan angin tidak hanya mempercepat waktu respon sensor dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan, tetapi juga memengaruhi besarnya nilai parameter yang terbaca. Hembusan angin yang lebih kencang membantu membawa panas dan partikel asap menuju sensor dengan lebih cepat, sehingga nilai suhu dan konsentrasi asap meningkat, sementara kelembapan cenderung menurun. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem mampu memberikan deteksi dini pada berbagai kondisi lingkungan, termasuk variasi jarak, kecepatan angin, dan waktu pengamatan.

REFERENSI

- [1] A. Amri, A. Akhirman, A. Zaharani, C. Rizki, L. M. Harianja, N. Prameswari, Vauzia, dan W. N. Putri, "Dampak bencana kebakaran hutan terhadap lingkungan dan upaya penanggulangan di Indonesia," *Jurnal Riset Tindakan Indonesia (JRTI)*, vol. 9, no. 2, pp. 159, 2024.
- [2] L. H. H. Al Banjari, R. Hayati, D. L. Setyowati, and Sriyanto, "Klasifikasi tingkat kebakaran hutan dan lahan pertanian di Kabupaten Semarang," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 10, no. 4, pp. 45, 2021.
- [3] A. H. Ritonga and Y. R. Mahmud, "Hubungan Mitigasi Early Warning System (EWS) dengan Kesiapsiagaan Masyarakat dalam Menghadapi Bencana di Desa Muara Ogan Kabupaten Ogan Komering Ulu," *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, vol. 4, no. 5, pp. 11234–11240, 2022, doi: 10.31004/jpdk.v4i5.7222.
- [4] A. R. Dwiputra, D. A. Maulana, Z. Nurzamilah, A. P. Pambudi, L. Nurpualela, dan S. Andromeda, "Peran Fiber Optik dalam Revolusi Teknologi Jaringan Telekomunikasi," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 1, pp. 1657–1663, Feb. 2025.
- [5] F. Nahdi and H. Dhika, "Analisis Dampak Internet of Things (IoT) Pada Perkembangan Teknologi di Masa Yang Akan Datang," *INTEGER: Journal of Information Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 33–42, May 2021.
- [6] Y. Bantaika, D. Nababan, and Risald, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, vol. 7, no. 5, pp. 1477–1483, Oct. 2024.
- [7] I. H. Eryk, S. A. Kusuma, dan M. N. Hidayat, "Sistem Otomasi Suhu dan Kelembaban Pada Greenhouse Berbasis Sensor DHT22 dan Mikrokontroler," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 97–102, Jun. 2025, doi: 10.2407-232X.
- [8] A. E. Pajri, Sutriawan, and T. Azhary, "Sistem Cerdas Deteksi Asap Rokok Secara Real-Time Berbasis Sensor MQ-2 dan Mikrokontroler ATMEGA 16 untuk Keamanan Ruang," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, Jan. 2025, doi: 10.53513/jsk.v8i1.10604.