

Perancangan Sistem Pemantauan Suhu, Kelembaban, Asap, Kebakaran, Kecepatan Angin dan Arah Angin Berbasis SMS di Lahan Pertanian UNTIRTA

Design of Monitoring System for Temperature, Humidity, Smoke, Fire, Wind Speed and Wind Direction based on SMS in UNTIRTA's Farm

Irma Saraswati¹, Alimuddin¹, Sobriansyah Irwan¹, Muchtar Ali Setyo Yudono¹

¹⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, Indonesia 4243
Alamat korespondensi: irma.saraswati@untirta.ac.id

Abstrak

Kebakaran lahan pertanian merupakan ancaman serius yang menimbulkan kerugian ekonomi dan ekologis besar, dengan estimasi kerugian nasional mencapai 221 triliun rupiah pada tahun 2015. Penelitian ini merancang dan memvalidasi sistem deteksi dini kebakaran berbasis SMS yang mengintegrasikan sensor MQ-7 untuk deteksi asap, fotodiode untuk deteksi api, serta sensor suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin. Pemanfaatan SMS dipilih karena jangkauan luas dan keandalannya pada wilayah pertanian dengan infrastruktur komunikasi terbatas. Validasi dilakukan melalui pengujian terkontrol terhadap performa masing-masing sensor. Sensor MQ-7 menunjukkan respons stabil terhadap peningkatan konsentrasi asap, sedangkan fotodiode mampu mendeteksi nyala api hingga jarak 150 cm. Namun, hasil validasi juga menunjukkan penurunan sensitivitas fotodiode pada intensitas cahaya tinggi, sehingga deteksi paling akurat terjadi pada malam hari (0–10 lux). Sensor DHT11 memiliki deviasi suhu 0,37°C dan galat kelembapan 2%, sedangkan modul GSM mencatat waktu transmisi rata-rata 2 detik dengan deviasi 1–4 detik. Hasil integrasi sistem menunjukkan kemampuan untuk memberikan pemantauan berkala serta peringatan cepat ketika indikator asap atau api terdeteksi. Temuan ini menegaskan efektivitas sistem dalam konteks pertanian, sekaligus mengidentifikasi perlunya peningkatan akurasi optik pada kondisi cahaya kuat.

Kata kunci: sistem deteksi dini kebakaran, pemantauan lingkungan, sensor fotodiode dan mq-7, notifikasi berbasis sms, pemantauan suhu dan kelembaban

Abstract

Agricultural land fires pose a serious threat, causing substantial economic and ecological losses, with national damages in Indonesia estimated at 221 trillion rupiah in 2015. This study designs and validates an SMS-based early fire detection system integrating an MQ-7 sensor for smoke detection, a photodiode for flame detection, and sensors for temperature, humidity, wind speed, and wind direction. SMS communication was selected due to its wide coverage and reliability in agricultural regions with limited digital infrastructure. Validation was conducted through controlled testing of each sensor's performance. The MQ-7 sensor demonstrated stable responsiveness to increasing smoke concentration, while the photodiode successfully detected open flames at distances up to 150 cm. However, validation also revealed a significant decline in photodiode sensitivity under high-intensity light, indicating that its most accurate detection occurs at night (0–10 lux). The DHT11 sensor exhibited a temperature deviation of 0.37°C and a humidity error of 2%, while the GSM module recorded an average message transmission time of 2 seconds with a deviation of 1–4 seconds. The integrated system demonstrated reliable periodic monitoring and rapid alert generation when smoke or flame indicators were detected. These findings confirm the system's effectiveness in agricultural settings while highlighting the need to improve optical accuracy under strong ambient light.

Keywords: early fire detection system, environmental monitoring, photodiode and mq-7 sensors, sms-based notification, temperature and humidity monitoring

Pendahuluan

Sektor pertanian memainkan peran krusial dalam perekonomian Indonesia, karena sebagian besar penduduk bergantung pada pertanian sebagai mata pencaharian mereka (1,2). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), lebih dari 30% tenaga kerja Indonesia bekerja di sektor pertanian, menjadikannya kontributor vital bagi Produk Domestik Bruto (PDB) negara (3). Namun, sektor ini menghadapi berbagai tantangan, salah satunya yang paling parah adalah ancaman kebakaran lahan pertanian (4). Kerugian finansial akibat kebakaran di Indonesia diperkirakan mencapai Rp221 triliun, yang sebagian besar disebabkan oleh kebakaran hutan dan lahan yang tidak ditangani secara efektif (5).

Kebakaran di lahan pertanian seringkali disebabkan oleh faktor alam dan aktivitas manusia, seperti pembukaan lahan dengan membakar untuk keperluan pertanian (6-8). Penyebab utama kebakaran ini antara lain kekeringan yang berkepanjangan, curah hujan yang rendah, dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan (9). Kebakaran ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan sumber daya alam yang berharga, tetapi juga peningkatan beban ekonomi negara (10,11), yang harus mengalokasikan dana untuk tanggap bencana dan rehabilitasi lingkungan (12). Penerapan sistem peringatan dini untuk deteksi kebakaran sangat penting untuk memitigasi potensi kerusakan yang disebabkan oleh kebakaran ini (13).

Penelitian tentang sistem peringatan dini kebakaran telah banyak dilakukan, terutama dalam pengelolaan kebakaran hutan (14). Penerapan sistem tersebut di wilayah pertanian, terutama di lahan pertanian terpencil dan terisolasi, masih terbatas (15). Seiring kemajuan teknologi, penggunaan sensor canggih untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, arah angin, asap, dan api menjadi semakin relevan (16,17). Salah satu teknologi yang menjanjikan untuk aplikasi ini adalah penggunaan Layanan Pesan Singkat atau *Short Message Service* (SMS) untuk komunikasi. SMS dipilih karena biayanya yang rendah, jangkauannya yang luas, dan kecepatannya yang andal, menjadikannya alat komunikasi yang efektif, terutama di lokasi yang jauh dari pusat kota dengan akses internet terbatas (18,19). Sistem yang diusulkan dalam studi ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dini kebakaran dan pemantauan lingkungan yang melacak suhu, kelembapan, kecepatan angin, arah angin, serta mendeteksi asap dan api secara waktu nyata (*real-time*), dengan data yang dikirimkan melalui SMS. Sistem ini menggunakan sensor MQ-7 dan fotodiode untuk deteksi asap dan api, serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan. Sistem yang diusulkan ini memberikan informasi yang akurat dan tepat waktu kepada pihak terkait, sehingga memungkinkan intervensi dini dan mitigasi risiko (20).

Penerapan sistem peringatan dini berbasis SMS sangat penting mengingat lokasi geografis lahan pertanian yang umumnya jauh dari pusat kota dan terbatasnya akses terhadap teknologi komunikasi dan informasi. Dengan memanfaatkan SMS sebagai media komunikasi, sistem ini dapat memberikan peringatan dini kepada petani atau pemangku kepentingan, sehingga memungkinkan respons cepat terhadap potensi kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem yang efektif dan efisien dalam mendeteksi tanda awal kebakaran pertanian di lahan pertanian UNTIRTA, yang dapat menjadi model implementasi di wilayah lain yang menghadapi tantangan serupa.

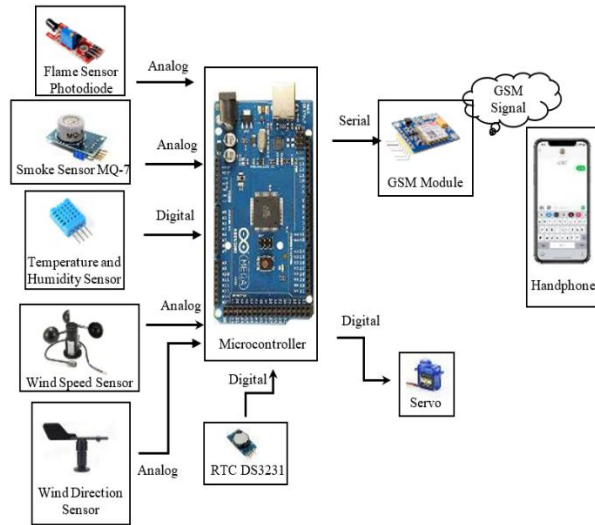
Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang sistem peringatan dini kebakaran telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya, seperti pembuatan sistem peringatan dini berbasis SMS, pengembangan metode deteksi kebakaran, serta pemantauan kecepatan dan arah angin. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan hasil dari beberapa referensi topik terkait. Beberapa referensi dalam penelitian sebelumnya berikut digunakan sebagai bahan kajian dalam penelitian yang dilakukan.

1. Penelitian sistem peringatan dini menggunakan SMS telah dilakukan untuk bencana hutan. Pada penelitian ini, teknologi SMS mampu mengirimkan peringatan terhadap bencana hutan setelah terdeteksi oleh sensor (21).
2. Penelitian terkait pendeteksian kebakaran menggunakan fotodiode telah dilakukan dengan implementasi pada wahana terbang. Fotodiode yang dipasang sebagai sensor pendeteksi kebakaran pada alat penelitian yang terpasang pada wahana terbang dapat mendeteksi keberadaan api (22).
3. Penelitian metode pendeteksian kebakaran melalui asap menggunakan sensor MQ-7 telah dilakukan di dalam ruangan. Sensor MQ-7 mampu mendeteksi keberadaan asap melalui kadar CO di udara yang mengindikasikan potensi kebakaran yang terjadi (23).
4. Pendeteksian kebakaran hutan telah dilakukan menggunakan sensor. Sensor yang digunakan adalah sensor asap berbentuk bilik. Sensor ini kemudian mengirimkan data jika mendeteksi asap maka alat akan memproses dan mengirimkan peringatan melalui jaringan nirkabel (24).
5. Penelitian pemantauan suhu, arah dan kecepatan angin telah dilakukan menggunakan sensor. Sensor mengidentifikasi suhu dan kelembapan, serta arah dan kecepatan angin yang kemudian diproses oleh prosesor (25).

Metode

Metode penelitian ini mencakup beberapa tahapan perancangan dan pengujian perangkat yang digunakan dalam penelitian ini. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pembuatan perangkat, dan pengujian. Perancangan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa komponen pendukung. Pembahasan meliputi perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan. Komponen pendukung terdiri dari masukan, proses, dan keluaran yang dapat dilihat dalam bentuk diagram blok pada Gambar 1.

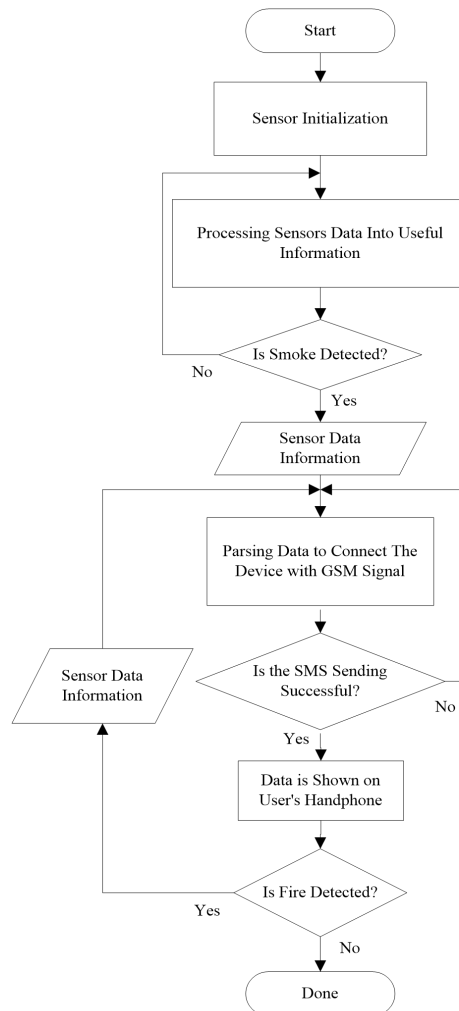


Gambar 1. Diagram Blok Sistem Peringatan Dini Kebakaran pada Pertanian

Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan proses perancangan prototipe sistem pemantauan dan peringatan dini berbasis SMS di Peternakan UNTIRTA. Sistem ini bekerja dari masukan hingga keluaran. Data masukan dari sistem peringatan ini berasal dari sensor yang terpasang pada perangkat. Kemudian data dari sensor tersebut diolah oleh mikrokontroler agar dapat dikirimkan kepada pengguna. Mikrokontroler menghitung keberadaan api dan asap serta suhu, kelembapan, kecepatan dan arah angin. Ketika perangkat mendeteksi gejala kebakaran, perangkat akan mengirimkan data informasi intensitas api serta kecepatan dan arah angin menggunakan mikrokontroler yang selanjutnya dikirimkan melalui modul GSM. Modul GSM telah terpasang kartu *Subscriber Identity Module* (SIM) yang berfungsi menyimpan kunci identifikasi layanan telekomunikasi. Mikrokontroler mengirimkan data informasi berupa SMS melalui sinyal GSM. Data informasi tersebut kemudian dikirimkan langsung ke nomor telepon seluler yang telah dipilih sebelumnya. Setelah itu, pengguna menerima notifikasi dari perangkat berupa SMS terkait kebakaran peternakan.

Desain yang digunakan adalah Rancangan Prototipe Sistem Pemantauan Suhu, Kelembapan, Asap,

Kebakaran, Kecepatan Angin, dan Arah Angin Berbasis SMS di peternakan UNTIRTA. Kemudian direpresentasikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Sistem

a. Desain Penelitian

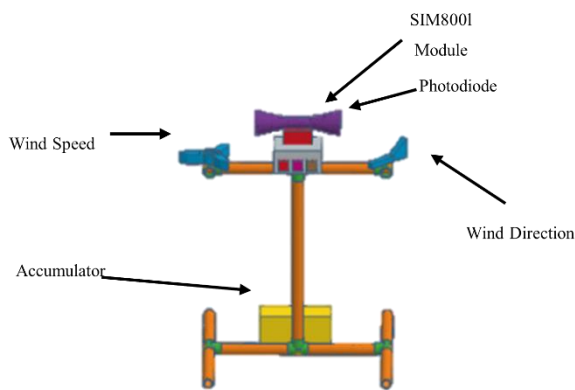
Perancangan penelitian dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk membangun sistem deteksi dini kebakaran berbasis SMS. Arduino IDE digunakan untuk memprogram mikrokontroler Arduino yang berfungsi sebagai unit pemroses utama, mengolah data dari sensor MQ-7 (asap/CO), fotodiode (api), DHT11 (suhu dan kelembapan), serta sensor kecepatan dan arah angin. Mikrokontroler menghitung nilai kerapatan asap, suhu, kelembapan, intensitas cahaya api, dan parameter angin, kemudian mengirimkan informasi tersebut kepada pengguna melalui modul GSM SIM800L.

Sebelum sistem dioperasikan, seluruh sensor melalui proses inialisasi untuk memastikan stabilitas pembacaan. Sensor MQ-7 menjalani proses

burn-in selama 48 jam pada kondisi udara bersih sebagai tahap stabilisasi awal. Selanjutnya dilakukan kalibrasi dengan membandingkan hubungan antara konsentrasi CO (ppm) dan tegangan keluaran sensor menggunakan sumber asap terkontrol (kertas dan kayu terbakar). Dari hasil kalibrasi tersebut ditentukan ambang batas deteksi asap sebesar 1,2 V, yang mewakili peningkatan signifikan konsentrasi CO dan digunakan sebagai pemicu notifikasi SMS. Penetapan threshold ini memberikan dasar kuantitatif bagi fungsi deteksi asap, sesuai kebutuhan validasi numerik yang direkomendasikan reviewer.

Sensor fotodiode diuji menggunakan sumber api nyata (korek api dan lilin) serta sumber cahaya non-api (LED putih, lampu pijar, dan pantulan sinar matahari). Intensitas cahaya diukur menggunakan lux meter, dan respons tegangan sensor dicatat pada setiap kondisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nyala api menghasilkan fluktuasi tegangan yang lebih cepat dibandingkan sumber cahaya lain, sehingga ambang batas deteksi ditetapkan pada tegangan $\leq 1,8$ V disertai fluktuasi cahaya khas nyala api. Pendekatan ini memungkinkan sistem membedakan api dari cahaya stabil, sehingga meningkatkan keandalan deteksi di lapangan.

Modul GSM dipilih sebagai media komunikasi karena konsumsi daya yang rendah, ketersediaan jaringan yang luas, serta tidak memerlukan infrastruktur tambahan seperti gateway LoRa atau konektivitas NB-IoT. Dengan demikian, SMS menjadi solusi paling realistis untuk kondisi pedesaan yang memiliki keterbatasan infrastruktur telekomunikasi. Seluruh komponen dirakit dalam sebuah kotak pelindung untuk mencegah kerusakan akibat panas maupun hujan. Kotak ini dipasang pada rangka berbahan PVC atau aluminium dengan desain yang kokoh untuk menopang modul kontrol dan sensor di lapangan. Desain rangka dan penempatan sensor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Prototype

Gambar 3 menunjukkan rancangan struktural sistem deteksi dini kebakaran, terdiri dari

rangka PVC/aluminium sebagai penopang utama, kotak pelindung komponen elektronika pada bagian tengah, serta penempatan sensor pada elevasi optimal. Sensor kecepatan dan arah angin ditempatkan pada bagian atas untuk memperoleh paparan angin maksimal, sedangkan modul kontrol dan catu daya ditempatkan di bagian tengah dan dasar rangka untuk menjaga keseimbangan dan perlindungan terhadap cuaca.

Sensor MQ-7 dikalibrasi menggunakan sumber asap terkontrol dan CO meter referensi. Hasil kalibrasi menunjukkan hubungan linier kuat antara konsentrasi CO dan tegangan keluaran sensor ($R^2 = 0.982$), seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kalibrasi MQ-7 (PPM vs Tegangan)

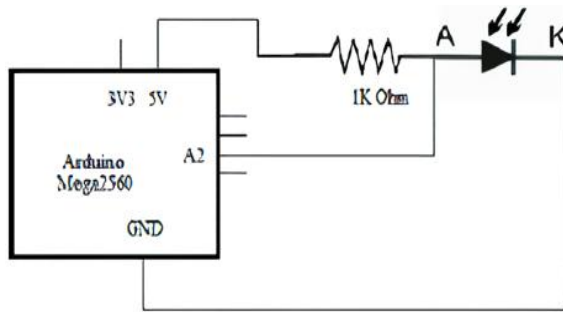
| CO (ppm) | Tegangan (V) | Deviasi (V) | Keterangan |
|----------|--------------|-------------|--------------|
| 10 | 0.28 | 0.02 | Udara bersih |
| 50 | 0.46 | 0.03 | Asap tipis |
| 100 | 0.72 | 0.04 | Asap ringan |
| 200 | 1.18 | 0.05 | Asap sedang |
| 300 | 1.52 | 0.06 | Asap pekat |
| 400 | 1.93 | 0.08 | Sangat pekat |
| 500 | 2.31 | 0.09 | Berbahaya |

Respons sensor MQ-7 pada Tabel 1 menunjukkan peningkatan tegangan yang konsisten seiring bertambahnya konsentrasi CO, mencerminkan karakteristik material semikonduktor SnO₂ yang semakin konduktif pada paparan gas reduktif. Rentang tegangan 0,28–2,31 V dengan deviasi rendah mengindikasikan stabilitas pembacaan serta sensitivitas memadai untuk mendeteksi perubahan kadar asap dari kondisi bersih hingga berbahaya. Kenaikan tajam pada kisaran 100–200 ppm menjadi dasar penetapan ambang batas deteksi 1,2 V, yang berfungsi sebagai indikator awal akumulasi asap untuk pemicu peringatan dini.

b. Perancangan Sensor Api Fotodiode

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan api pada sistem ini adalah fotodiode, yaitu dioda semikonduktor yang peka terhadap intensitas cahaya. Fotodiode dihubungkan dengan resistor 1 k Ω sebagai pembagi tegangan dan mendapatkan suplai dari pin 5V Arduino. Keluaran rangkaian berupa sinyal analog dengan rentang 0–5 V yang kemudian diteruskan ke pin analog A2 pada Arduino Mega2560. Pada konfigurasi ini, intensitas cahaya api menghasilkan perubahan nilai resistansi optik, sehingga semakin besar nyala api yang diterima sensor, semakin kecil nilai tegangan keluarannya. Arduino membaca tegangan analog tersebut sebagai nilai digital 0–1024 dan mengolahnya untuk menentukan

ada tidaknya api. Desain pengkabelan sensor fotodiode ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Pengkabelan Detektor Kebakaran

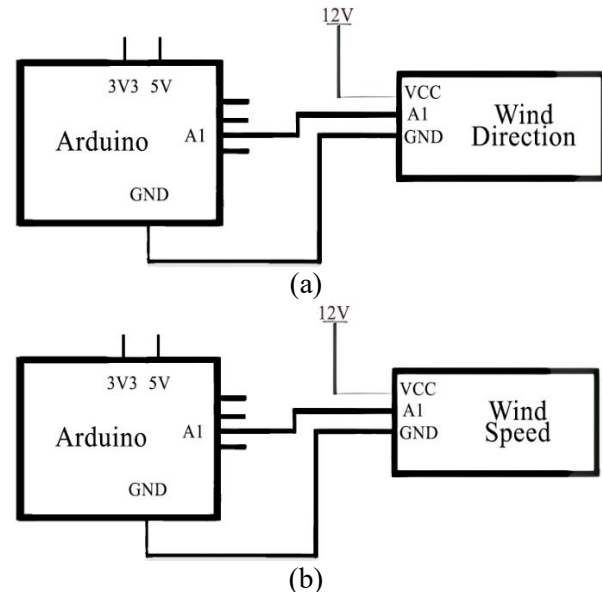
Selain mendeteksi perubahan intensitas cahaya, fotodiode dipilih karena kemampuannya menangkap fluktuasi cahaya cepat yang menjadi karakteristik khas nyala api. Hal ini memungkinkan sensor membedakan api dari sumber cahaya stabil seperti LED, lampu pijar, atau pantulan sinar matahari. Pengujian membuktikan bahwa hanya nyala api yang menghasilkan perubahan tegangan signifikan dan berfluktuasi, sehingga ambang deteksi ditetapkan pada $\leq 1,8$ V dengan pola fluktuasi tertentu. Pendekatan ini meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi lapangan yang variatif.

Beberapa teknologi deteksi api lainnya, seperti sensor inframerah (IR flame sensor) dan sensor ultraviolet (UV flame sensor), juga umum digunakan dalam sistem deteksi kebakaran. Namun, kedua sensor tersebut memiliki biaya yang lebih tinggi dan sensitif terhadap interferensi lingkungan tertentu, seperti pantulan panas atau radiasi UV dari matahari. Sementara itu, sensor berbasis kamera atau visi komputer mampu mendeteksi api dengan akurasi lebih tinggi, tetapi membutuhkan konsumsi daya besar, pemrosesan citra kompleks, serta konektivitas stabil yang tidak selalu tersedia di lahan pertanian terpencil. Dibandingkan alternatif tersebut, fotodiode menawarkan keunggulan berupa biaya rendah, konsumsi daya minimal, waktu respons cepat, serta kemudahan integrasi dengan mikrokontroler. Kombinasi ini menjadikannya pilihan paling sesuai untuk aplikasi pemantauan kebakaran berbasis SMS pada lingkungan pertanian yang memiliki keterbatasan sumber daya dan infrastruktur.

c. Perancangan Sensor Arah Angin dan Kecepatan Angin

Perancangan Sensor Arah dan Kecepatan Angin membutuhkan tegangan 12 Volt. Sensor menghasilkan keluaran berupa data analog 0-5 Volt yang terhubung ke pin analog Arduino. Perancangan Sensor Arah dan Kecepatan Angin yang terhubung ke

Arduino dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 (a). Perancangan Arah Angin, (b). Sensor Kecepatan Angin.

Perancangan Sensor Arah dan Kecepatan Angin membutuhkan tegangan 12 Volt. Sensor menghasilkan keluaran berupa data analog 0-5 Volt yang terhubung ke pin analog Arduino. Perancangan Sensor Arah dan Kecepatan Angin yang terhubung ke Arduino dapat dilihat pada Gambar 5.

d. Perancangan Modul GSM (*Global System for Mobile Communications*)

SIM800L sebagai modem GSM yang digunakan sebagai alat untuk mengirimkan data melalui layanan SMS. Modul ini menggunakan daya rendah dan membutuhkan tegangan 3,8-4,3 Volt, sehingga digunakan pembatas tegangan dengan dioda Zener 1N4730. Regulator Tegangan *Step-Down* DC-DC digunakan untuk mensuplai tegangan sesuai kebutuhan SIM800L. Pin Rx dan Tx modul dihubungkan ke pin Rx dan Tx Arduino agar komunikasi antara Arduino dan modul dapat berjalan dan modul GSM dapat bekerja secara optimal. Desain modul GSM yang terhubung ke Arduino dapat dilihat pada Gambar 6.

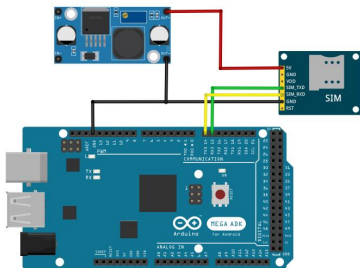
e. Modul Regulator Tegangan Step Down DC-DC LM2596

Arduino Mega sebagai prosesor utama menyediakan keluaran tegangan 3,3 V dan 5 V, namun tegangan tersebut tidak memenuhi kebutuhan operasional modul SIM800L yang memerlukan suplai stabil pada kisaran 3,8-4,2 V dengan arus puncak hingga 2 A. Untuk itu digunakan modul regulator step-down DC-DC LM2596, yang berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi 4 V, sehingga

modul SIM800L dapat bekerja dengan aman dan stabil.

Sistem ini menggunakan baterai 12 V sebagai sumber daya utama karena perangkat dirancang untuk beroperasi secara mandiri di area pertanian terpencil yang tidak memiliki akses listrik PLN. Baterai 12 V dengan kapasitas 7–12 Ah dipilih karena mampu menyediakan arus stabil, tahan terhadap kondisi lingkungan luar ruang, dan kompatibel dengan kebutuhan beban sensor serta modul komunikasi.

Tegangan 12 V dari baterai dialirkan ke modul LM2596 untuk diubah menjadi 4 V bagi SIM800L, sekaligus menjadi suplai bagi Arduino Mega melalui jalur VIN yang kemudian menghasilkan keluaran 5 V untuk sensor lain seperti MQ-7, fotodiode, dan DHT11. Selain itu, sensor arah dan kecepatan angin juga memerlukan suplai langsung 12 V dan menghasilkan keluaran analog 0–5 V yang dibaca oleh pin analog Arduino. Dengan konfigurasi distribusi daya ini, seluruh komponen menerima tegangan yang sesuai spesifikasinya sehingga memastikan stabilitas dan keandalan sistem selama proses pemantauan. Desain rangkaian modul SIM800L dan LM2596 ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perancangan Modul GSM

Hasil

Penelitian yang dilakukan telah berhasil menciptakan sistem yang dapat bekerja dengan baik. Mikrokontroler dan komponen, serta sensor fotodiode, ditempatkan di dalam kotak komponen agar terlindung dari panas dan hujan. Kotak-kotak komponen tersebut kemudian dirakit sesuai rancangan pada Gambar 1. Rangka terbuat dari pipa PVC berukuran setengah inci, kemudian dirakit menjadi ukuran 80 cm x 80 cm x 120 cm. Sensor kecepatan dan arah angin dipasang pada rangka beserta baterainya. Gambar 7 menunjukkan hasil pemasangan kotak komponen beserta rangkanya.



Gambar 7. Pemasangan Kotak Komponen Dengan Rangka.

a. Hasil Uji Sensor Suhu dan Kelembaban

Pengujian sensor berguna untuk menentukan akurasi nilai keluaran sensor di lokasi penelitian. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai sensor suhu dan kelembaban yang terbaca pada monitor serial dengan nilai yang dihasilkan alat ukur. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Sensor Suhu dan Kelembaban

| Kondisi | Suhu (°C) | | Deviasi | % Galat |
|---------|----------------|-------|---------|---------|
| | Termometer | DHT11 | | |
| 0°C | 0.5 | 0 | 0.5 | 0.6 |
| 100°C | 55.1 | 55 | 0.1 | 0.2 |
| | Rerata | | 0.3 | 0.37 |
| Kondisi | Kelembaban (%) | | Deviasi | % Galat |
| | Higrometer | DHT11 | | |
| 0°C | 87 | 87 | 0 | 0 |
| 100°C | 99 | 95 | 4 | 4 |
| | Rerata | | 2 | 2 |

Tabel 2 diatas merupakan hasil pengujian sensor, nilai galat yang didapatkan merupakan presentase galat yang menandakan pembacaan pada sensor berfungsi.

b. Pengujian Sensor Fotodiode

Perumusan algoritma deteksi kebakaran pada sensor fotodiode dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan bahwa proses identifikasi api berlangsung secara terukur dan dapat direplikasi. Fotodiode menghasilkan tegangan analog yang menurun ketika intensitas cahaya meningkat, sementara nyala api menunjukkan pola fluktuasi cahaya yang cepat dan tidak stabil. Berdasarkan hasil kalibrasi, sistem menentukan ambang batas deteksi pada tegangan keluaran $\leq 1,8$ V serta fluktuasi tegangan minimal $\Delta V \geq 0,15$ V dalam interval waktu pendek. Kedua parameter ini diproses secara bersamaan sehingga deteksi hanya terjadi apabila pola cahaya sesuai karakteristik api, dan bukan akibat cahaya stabil seperti lampu LED atau sinar matahari.

Setelah parameter ambang batas ditetapkan, pengujian sensor dilakukan dengan menempatkan sumber api pada jarak 10 hingga 150 cm dengan interval 10 cm. Pengukuran dilakukan pada empat fase

pencahayaannya alami, yaitu pagi, siang, sore, dan malam, yang masing-masing memiliki variasi intensitas cahaya lingkungan. Lux meter digunakan untuk mencatat intensitas cahaya pada setiap fase guna memastikan konsistensi kondisi uji. Sensor dievaluasi melalui indikator LED dan pembacaan analog Arduino untuk memastikan keakuratan respons. Hasil pengukuran jarak deteksi sensor fotodiode tanpa pelindung berdasarkan intensitas cahaya tiap fase ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Fotodiode

| Jarak (cm) | Intensitas Cahaya (Lux) | | | |
|------------|-------------------------|--------------|------------|---------|
| | Pagi | Sore | Malam | Malam |
| | 1400-45700 | 45700-115000 | 76700-2900 | 0-10 |
| 10 | Deteksi | Deteksi | Deteksi | Deteksi |
| 20 | Deteksi | Deteksi | Deteksi | Deteksi |
| 30 | Deteksi | - | Deteksi | Deteksi |
| 40 | Deteksi | - | Deteksi | Deteksi |
| 50 | Deteksi | - | - | Deteksi |
| 60 | Deteksi | - | - | Deteksi |
| 70 | - | - | - | Deteksi |
| 80 | - | - | - | Deteksi |
| 90 | - | - | - | Deteksi |
| 100 | - | - | - | Deteksi |
| 110 | - | - | - | Deteksi |
| 120 | - | - | - | Deteksi |
| 130 | - | - | - | Deteksi |
| 140 | - | - | - | Deteksi |
| 150 | - | - | - | Deteksi |

Tabel 3 menunjukkan hasil percobaan pendeteksian api menggunakan sensor fotodiode. Sensor ini dapat mendeteksi api dengan baik pada malam hari. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan selama pengujian, yaitu pagi, siang, sore, dan malam hari. Faktor yang paling memengaruhi hasil pembacaan sensor adalah keberadaan matahari, sehingga sensor bekerja pada malam hari sehingga hasil pengujian lebih efektif. Semakin tinggi intensitas sinar matahari, semakin buruk pembacaan sensor. Hal inilah yang menjadi kelemahan sensor yang digunakan. Selain itu, besarnya api juga menjadi faktor yang dideteksi oleh sensor fotodiode.

c. Pengujian Modul SMS

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan waktu pengiriman dan penerimaan SMS oleh perangkat. *Stopwatch* digunakan sebagai alat untuk mengukur waktu respons pengiriman informasi SMS. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data pemantauan melalui SMS dan menerima informasi melalui ponsel. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian pengukuran selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan SMS dari perangkat ke ponsel.

Tabel 4. Pengujian Komunikasi GSM

| No | Kirim | Terima | Deviasi (Detik) | Hasil |
|----|---------|---------|-----------------|---------|
| 1 | 5:26:00 | 5:26:01 | 1 | Success |
| 2 | 5:28:00 | 5:28:01 | 1 | Success |
| 3 | 5:30:00 | 5:30:04 | 4 | Success |
| | Rerata | | 2 | |

d. Pengujian Sistem

Pengujian keseluruhan sistem meliputi pemantauan suhu dan kelembapan menggunakan SMS, serta pengujian ketika sistem mendeteksi munculnya asap. Pengujian dilakukan di lahan pertanian UNTIRTA. Gambar 8 menunjukkan kondisi lokasi saat pengumpulan data menggunakan perangkat.

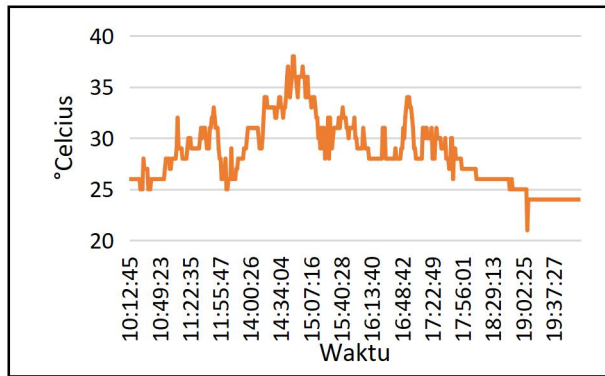


Gambar 8. Kondisi Lingkungan Pengujian

Data pemantauan sensor dikirim melalui SMS dalam satu pesan teks. Setiap kali perangkat mengirim pesan teks, pesan tersebut sudah berisi data pemantauan suhu dan kelembapan. Perangkat akan mengirimkan data pemantauan setiap 10 menit. Data hasil pemantauan yang diterima ponsel melalui SMS adalah sebagai berikut.

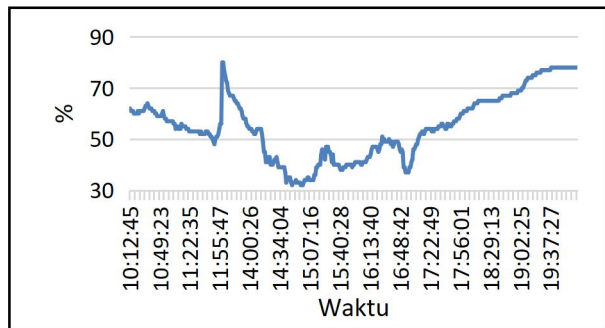
e. Pengujian Pemantauan

Data pemantauan dikirim melalui SMS dalam satu pesan teks. Setiap kali perangkat mengirim pesan teks, pesan tersebut sudah berisi data pemantauan suhu dan kelembapan. Perangkat akan mengirimkan data pemantauan setiap 10 menit. Data hasil pemantauan yang diterima ponsel melalui SMS adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Bagan Pengukuran Suhu

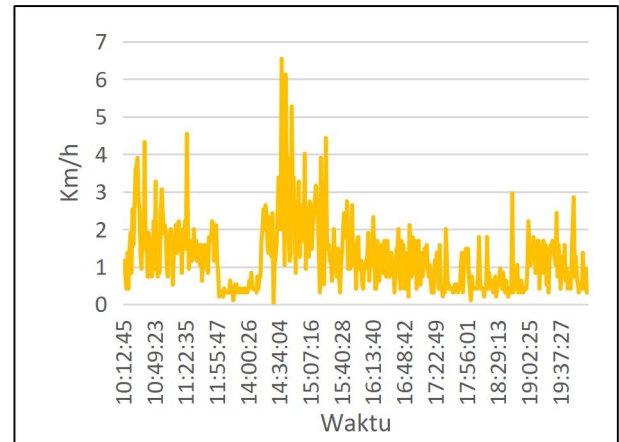
Berdasarkan Gambar 9, data suhu menunjukkan fluktuasi harian yang umum, dengan puncak pada sore hari dan penurunan pada malam hari. Peningkatan suhu yang tajam, terutama pada siang hari, berpotensi mengindikasikan adanya kebakaran. Mengkorelasikan data suhu dengan sensor deteksi asap dan api meningkatkan akurasi sistem deteksi dini, sehingga memungkinkan peringatan yang lebih cepat dan tepat waktu. Menggabungkan data suhu dengan parameter lingkungan lainnya, seperti kelembapan dan kecepatan angin, dapat meningkatkan keandalan sistem dalam mendeteksi kebakaran. Hal ini juga meningkatkan model prediktif untuk intervensi yang lebih efektif.



Gambar 10. Bagan Pengukuran Kelembapan

Gambar 10 menunjukkan pengukuran kelembapan dari waktu ke waktu, menggambarkan pola fluktuasi khas kelembapan relatif sepanjang hari. Grafik tersebut menggambarkan peningkatan kelembapan yang signifikan sejak sore hari, mencapai hampir 80% pada malam hari, yang umum terjadi di lingkungan pertanian karena perubahan kondisi atmosfer, terutama setelah teriknya siang hari. Lonjakan tajam sekitar pukul 13.30 dapat dikaitkan dengan peristiwa lokal, seperti perubahan cuaca yang mendadak atau faktor lingkungan, seperti pelepasan kelembapan dari tanah atau tanaman di sekitarnya. Data ini memberikan wawasan berharga tentang bagaimana kelembapan berinteraksi dengan parameter lingkungan lainnya seperti suhu dan angin. Peningkatan kelembapan dapat berkontribusi terhadap risiko

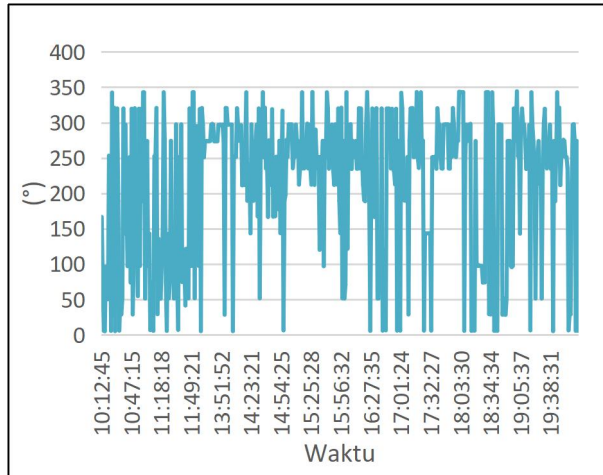
kebakaran karena dampaknya terhadap tingkat kelembapan vegetasi. Dengan mengintegrasikan data kelembapan ini dengan sensor deteksi suhu dan asap, sistem dapat meningkatkan kemampuannya untuk mendeteksi risiko kebakaran dan merespons perubahan lingkungan secara lebih efektif.



Gambar 11. Bagan Pengukuran Kecepatan Angin

Gambar 11 menyajikan grafik pengukuran kecepatan angin, yang menunjukkan variasi kecepatan angin dari waktu ke waktu. Grafik tersebut menunjukkan fluktuasi yang sering terjadi sepanjang hari, dengan lonjakan sesekali mencapai hingga 6 km/jam. Variasi ini menunjukkan lingkungan angin yang dinamis, dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perbedaan suhu, topografi setempat, atau pergerakan sistem cuaca. Pola kecepatan angin yang diamati sangat penting untuk memahami perilaku kebakaran.

Kecepatan angin yang tinggi, terutama pada sore dan malam hari, dapat mempercepat penyebaran api dengan membawa bara api ke jarak yang lebih jauh. Mengintegrasikan data kecepatan angin dengan suhu, kelembapan, dan deteksi asap dapat membantu menciptakan sistem penilaian risiko kebakaran yang lebih komprehensif. Hal ini memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap potensi kebakaran, terutama di daerah dengan angin kencang yang dapat memperburuk risiko kebakaran.



Gambar 12. Bagan Pengukuran Arah Angin

Gambar 12 menunjukkan grafik pengukuran arah angin, yang menggambarkan variasi arah angin dari waktu ke waktu. Grafik ini menunjukkan pergeseran arah angin yang sering dan cepat, dengan nilai berfluktuasi antara 0° dan 360° .

Variasi ini menunjukkan pola angin yang kompleks, yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kondisi geografis setempat atau perubahan tekanan atmosfer. Data arah angin sangat penting untuk menilai risiko kebakaran, karena perubahan arah angin dapat berdampak signifikan terhadap penyebaran api. Memahami pola angin, terutama yang berkaitan dengan suhu, kelembapan, dan deteksi asap, dapat meningkatkan akurasi sistem peringatan dini. Dengan mengintegrasikan data arah angin dengan parameter lingkungan lainnya, sistem dapat memberikan prediksi kebakaran yang lebih akurat dan membantu mengarahkan sumber daya ke area berisiko tinggi.

f. Pemantauan SMS Pertanian

Pemantauan pertanian menggunakan SMS dilakukan dengan mengirimkan data lingkungan secara berkala ke nomor pengguna. Data pemantauan berisi informasi suhu, kelembapan, kecepatan dan arah angin, serta status deteksi api dan asap yang diperoleh dari sensor-sensor terintegrasi. Hasil pemantauan yang dikirim melalui SMS dapat dilihat pada Gambar 13. Mekanisme ini memungkinkan pengguna menerima pembaruan kondisi lapangan secara real time meskipun berada jauh dari lokasi, sehingga memberikan kemampuan respons cepat terhadap potensi kebakaran atau perubahan lingkungan yang signifikan.

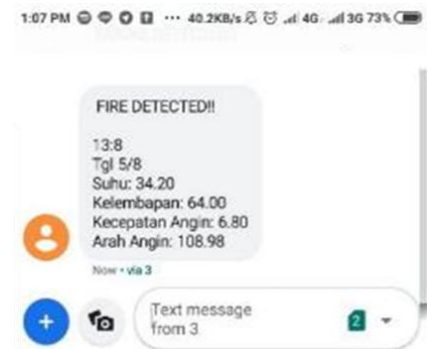


Gambar 13. Hasil Pemantauan Perkebunan Melalui SMS

Gambar 13 menunjukkan keluaran SMS dari perangkat. Baris pertama pesan menampilkan nama informasi yang diberikan. Baris kedua dan ketiga menampilkan waktu dan tanggal pengiriman data. Baris berikutnya menampilkan suhu sekitar perangkat informasi dalam derajat Celcius. Baris kelima menampilkan kelembapan yang terdeteksi oleh perangkat. Baris terakhir menampilkan status deteksi langsung sensor.

g. Deteksi Kebakaran Lahan Pertanian Menggunakan SMS

Perangkat akan mendeteksi kebakaran lahan pertanian serta parameter yang menunjukkan tanda-tanda bahaya kebakaran. Kemudian, perangkat akan memberikan informasi kepada pengguna melalui SMS. Peringatan dini melalui SMS akan dikirimkan oleh perangkat jika mendeteksi kebakaran. Isi pesan SMS peringatan dini kebakaran tidak hanya berupa peringatan, tetapi juga informasi tentang situasi, kecepatan angin, dan arah angin. Isi pesan SMS yang terkirim dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Jika Terdeteksi Kebakaran Dan Pengiriman Deteksi Dini Melalui SMS

Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem

- dapat mengirimkan informasi berupa SMS.
- Informasi berupa SMS berisi status peringatan dini kebakaran lahan dan data pemantauan suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin.
 - Berdasarkan pengujian sistem secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa waktu respons pengiriman SMS dari perangkat hingga penerimaan informasi SMS di ponsel berkisar antara 1 detik hingga 8 detik, sehingga informasi yang diperoleh pengguna terkait status pemantauan dan peringatan dini kebakaran dapat diketahui dengan cepat.
 - Informasi pemantauan kondisi lingkungan lahan akan dikirimkan oleh perangkat kepada pengguna melalui SMS secara berkala setiap 10 menit.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, sistem deteksi dini kebakaran berbasis SMS ini masih dapat ditingkatkan agar lebih optimal untuk pemantauan di lahan pertanian. Keterbatasan sensor fotodiode pada intensitas cahaya tinggi menunjukkan perlunya peningkatan akurasi sensor atau penambahan pelindung optik. Selain itu, meskipun SMS cukup cepat dan efektif, penggunaan teknologi komunikasi seperti IoT dapat dipertimbangkan untuk pemantauan yang lebih luas dan *real-time*. Sistem juga dapat diperkuat dengan sumber daya mandiri seperti panel surya serta dilakukan pengujian lanjutan pada berbagai kondisi cuaca untuk memastikan keandalannya. Integrasi alarm lokal atau aplikasi pemantauan akan semakin meningkatkan manfaat sistem dalam memberikan peringatan dini dan informasi kondisi lingkungan secara berkelanjutan.

Daftar Rujukan

- Ngadi N, Zaelany AA, Latifa A, Harfina D, Asiati D, Setiawan B, et al. Challenge of Agriculture Development in Indonesia : Rural Youth Mobility and Aging Workers in Agriculture Sector. *sustainability*. 2023;12(2):922.
- Tan S, Zevaya F. Dynamic model in analyzing Indonesia 's agricultural sector 's macroeconomic performance. *J Infrastructure, Policy Dev*. 2024;8(8):1–24.
- Antriyandarti E. Strategies to overcome the declining trend of young farmers : A comprehensive review of agricultural development issues. *J Agrosociology Sustain*. 2025;3(1):1–18.
- Neger C, Ponce-calderón LP, Manzo-delgado LDL, López-madrid MA. International Journal of Disaster Risk Reduction Integrated fire management in a tropical biosphere reserve : Achievements and challenges. *Int J Disaster Risk Reduct* [Internet]. 2024;106(April):104447. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104447>
- Sofiyuddin M, Suyanto S, Kadir S, Dewi S. Forest Policy and Economics Sustainable land preparation for farmer-managed lowland agriculture in Indonesia. *For Policy Econ* [Internet]. 2021;130(September 2020):102534. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102534>
- Aulia R, White B, Ma C. The effect of growth , deforestation, forest fires , and volcanoes on Indonesian regional air quality. *J Clean Prod* [Internet]. 2024;457(November 2023):142311. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142311>
- Aminah, Krah C, Perdinan. Forest fires and management efforts in Indonesia (a review). In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. Seattle: IOP Publishing; 2020. p. 1–7. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/504/1/012013>
- Vinci S, Turco R, Salvati L. Sustainable Land Management , Wildfire Risk and the Role of Grazing in Mediterranean from Greece. *land*. 2020;9(1):1–16.
- Pontes-lobes A, Silva CVJ, Barlow J, Rincón LM, Campanharo WA, Nunes CA, et al. Drought-driven wildfire impacts on structure and dynamics in a wet Central Amazonian forest. *Proc R Soc B Biol Sci*. 2021;288(1951).
- Rango A De, Furnari L, Cortale F, Senatore A, Mendicino G. Wildfire Early Warning System Based on a Smart CO 2 Sensors Network. *Sensors*. 2025;27(7):1–20.
- Wang Y, Lewis DJ. Journal of Environmental Economics Wildfires and climate change have lowered the economic value of western U . S . forests by altering risk expectations. *J Environ Econ Manage* [Internet]. 2024;123(November 2023):102894. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102894>
- Kala CP. Environmental and socioeconomic impacts of forest fires : A call for multilateral cooperation and management interventions. *Nat Hazards Res* [Internet]. 2023;3(2):286–94. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.04.003>
- Wang X, Li M, Gao M, Liu Q, Li Z, Kou L. Journal of Safety Science and Resilience Early smoke and flame detection based on transformer. *J Saf Sci Resil J*. 2023;4(March):294–304.
- Jingjing P, Haoying Z, Shiyu Y, Mengyao W, Yun L. Research on forest fire risk assessment and prevention and control Countermeasures : A

- case study of Qinyuan County , Shanxi Province , China. *Ecol Indic* [Internet]. 2025;176(March):113719. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113719>
15. Puppala H, Peddinti PRT, Pawan J, Ahuja J, Kim B. Technology in Society Barriers to the adoption of new technologies in rural areas : The case of unmanned aerial vehicles for precision agriculture in India. *Technol Soc* [Internet]. 2023;74(July):102335. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102335>
 16. Narayana TL, Venkatesh C, Kiran A, J CB. Heliyon Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors. *Heliyon* [Internet]. 2024;10(7):e28195. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195>
 17. Ali M, Ahmad I, Geun I, Hamza SA, Ijaz U, Jang Y, et al. A Comprehensive Review of Advanced Sensor Technologies for Fire Detection with a Focus on Gasistor-Based Sensors. *Chemosensors*. 2025;13(7):1–51.
 18. Afrin S, Jannat S, Kabir M, Farah T, Bin S, Lameesa A, et al. Computers in Industry Industrial Internet of Things : Implementations , challenges , and potential solutions across various industries. *Comput Ind* [Internet]. 2025;170(May):104317. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2025.104317>
 19. Alqahtani AAS, Sulaiman M, Alshayeb T. From Inception to Innovation : A Comprehensive Review and Bibliometric Analysis of IoT-Enabled Fire Safety Systems. *safety*. 2025;11(2):1–44.
 20. Rehman A, Qureshi MA, Ali T, Irfan M, Abdullah S, Yasin S, et al. Smart Fire Detection and Deterrent System for Human Savior by Using Internet of Things (IoT). *Energies*. 2021;14(17):1–30.
 21. Kharisma RS, Setiyansah A, Yogyakarta UA. Fire Early Warning System Using Fire Sensors , Microcontroller , and SMS Gateway. *J Robot Control*. 2021;2(3):165–9.
 22. Seidaliyeva U, Ilipbayeva L, Utebayeva D, Smailov N. LiDAR Technology for UAV Detection : From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques. *Sensors*. 2025;25(9):1–27.
 23. Herlambang P, Kristiyono AE, Eddi. Rancang Bangun Detektor Karbon Monoksida (CO) dengan MQ-7 Berbasis Internet of Things. *Jupiter Publ Ilmu Keteknikan Ind Tek Elektro dan Inform*. 2025;3(3):60–72.
 24. Elhanashi A, Essahraui S, Dini P. Early Fire and Smoke Detection Using Deep Learning : A Comprehensive Review of Models , Datasets , and Challenges. *Appl Sci*. 2025;15(18):1–31.
 25. Lee C yuan, Shieh J shing, Huang G quan, Liu C kai, Cox N, Chou C hao. Enhancing the Reliability and Durability of Micro-Sensors Using the Taguchi Method. *Processes*. 2025;13(9):1–17.