



Jurnal Politeknik Caltex Riau

<https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/>

| e- ISSN : 2460-5263 (Online) | p- ISSN : 2443-4167 (Print) |

Pengiriman Data *Surveillance Sensing* Menggunakan Sistem Nirkabel Pada Frekuensi 433 MHz Untuk Kebakaran Hutan

Rizadi Sasmita Darwis¹, Muhammad Saputra², Hamid Azwar³, M. Rafif Fikri⁴, Emansa Hasri Putra⁵

^{1,2,3,5} Politeknik Caltex Riau, Teknik Telekomunikasi, email : rizadi@pcr.ac.id, saputra@pcr.ac.id, hamid@pcr.ac.id, emansa@pcr.ac.id

⁴ Politeknik Caltex Riau, Teknik Elektronika Telekomunikasi, email : rafif@alumni.pcr.ac.id

[1] Abstrak

Kebakaran yang melanda Indonesia pada tahun 2015 dianggap sebagai salah satu bencana lingkungan terbesar abad ke-21 sejauh ini. Bank Dunia memperkirakan bahwa krisis kebakaran tahun 2015 merugikan Indonesia sebesar US \$16 miliar dalam bidang kehutanan, pertanian, pariwisata, dan industri lainnya. Kabut asap menyebabkan penyakit pernapasan dan penyakit lainnya pada ratusan ribu orang di seluruh wilayah tersebut. Selama ini usaha mitigasi kebakaran hutan dan lahan sudah sering dilakukan oleh pemerintah dan satgas kebakaran hutan, mulai dari membuat sistem peringatan dini, peningkatan partisipasi masyarakat, dan teknik pengendalian kebakaran hutan. Namun semua usaha mitigasi tersebut lebih dominan dilakukan setelah kebakaran hutan dan lahan telah terjadi. Padahal ketika kebakaran telah terjadi dan api telah membesar, usaha mitigasi kebakaran jadi lebih berat dan berbiaya mahal karena harus melibatkan helikopter untuk memadamkan api dari udara. Jadi suatu usaha mitigasi kebakaran dan lahan membutuhkan yang mudah digunakan, cepat dan murah diimplementasikan, serta dapat menjangkau area yang lebih luas dari suatu kawasan hutan. Penelitian bertujuan untuk membuat surveillance sensing system for forest fire untuk mitigasi kebakaran hutan berbasis teknologi drone, dan teknologi sensor. Penelitian ini sebagai suatu inovasi serta pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang bermanfaat bagi masyarakat, satgas kebakaran hutan dan pemerintah daerah. Tahapan penelitian dimulai dari perancangan, pembuatan, dan perancangan surveillance sensing system for forest fire di laboratorium Jaringan Telekomunikasi. Luaran dari penelitian ini adalah sebuah prototipe surveillance sensing system for forest fire. Hasil Pengujian dalam rentang waktu tertentu menunjukkan bahwa sensor berjalan dengan baik. Seluruh sensor yang digunakan akan menunjukkan perubahan nilai ketika ada sumber panas dan api yang terdeteksi. Hasil Sensor suhu rata-rata adalah 72,34 ° C. Sedangkan hasil sensor partikel debu adalah 665,45 µg/m³. Dan untuk sensor kualitas udara rata-rata adalah 0,225 ppm. Untuk data GPS sensor memiliki akurasi 99,5%. Untuk proses pengiriman data juga telah berjalan dengan baik karena data yang dikirim dan tersimpan di sd card Arduino penerima telah menunjukkan nilai yang sama dengan data yang dibaca oleh Arduino sebelum dikirimkan. Untuk jarak pengiriman maksimal yang bisa digunakan adalah 0-40 meter.

Kata kunci: kebakaran hutan, surveillance sensing system, prototipe

[2] Abstract

The fires that hit Indonesia in 2015 are considered one of the biggest environmental disasters of the 21st century so far. The World Bank estimates that the 2015 fire crisis cost Indonesia US\$16 billion in forestry, agriculture, tourism and other industries. The smog causes respiratory and other illnesses in hundreds of thousands of people across the region. So far, efforts to mitigate forest and land fires have often been carried out by the government and the forest fire task force, starting from creating an early warning system, increasing community participation, and forest fire control techniques. However, all of these mitigation efforts are more dominantly carried out after forest and land fires have occurred. Whereas when a fire has occurred and the fire has grown bigger, fire mitigation efforts become more difficult and expensive because they have to involve helicopters to extinguish the fire from the air. So a land and fire mitigation effort requires one that is easy to use, fast and cheap to implement, and can reach a wider area than a forest area. The research aims to create a surveillance sensing system for forest fire for forest fire mitigation based on drone technology, and sensor technology. This research is an innovation and development of science and technology that is beneficial to the community, the forest fire task force and the local government. The research stages start from the design, manufacture, and design of a surveillance sensing system for forest fire in the Telecommunication Network laboratory. The output of this research is a prototype surveillance sensing system for forest fire. Test results within a certain time span indicate that the sensor is running well. All sensors used will show a change in value when a heat source and fire are detected. The average temperature sensor result is 72.34 C. While the dust particle sensor result is 665.45 g/m³. And for air quality sensors the average is 0.225 ppm. For GPS sensor data it has 99.5% accuracy. which the Arduino reads before sending. The maximum delivery distance that can be used is 0-40 meters.

Kata kunci: Forest fires, surveillance sensing system, prototipe

1. Pendahuluan

Kebakaran hutan adalah bencana yang terjadi di areal hutan dan lahan yang memiliki titik api. Kebakaran hutan merupakan permasalahan bencana yang sering terjadi di Indonesia, bahkan hampir setiap tahunnya ketika musim kemarau tiba. Kebakaran hutan yang terjadi banyak menimbulkan kerugian baik secara ekonomis maupun non ekonomis. Banyak wilayah di Indonesia yang masih memiliki kerentanan terhadap bahaya kebakaran. Sebanyak 3.403.000 hektar (ha) lahan terbakar antara tahun 2015 dan 2018 di Indonesia, menurut analisis data resmi pemerintah. Pada tahun 2015 saja lebih dari 2.600.000 ha lahan terbakar. Kebakaran yang melanda Indonesia pada tahun 2015 dianggap sebagai salah satu bencana lingkungan terbesar abad ke-21 sejauh ini. Bank Dunia memperkirakan bahwa krisis kebakaran tahun 2015 merugikan Indonesia sebesar US \$ 16 miliar dalam bidang kehutanan, pertanian, pariwisata, dan industri lainnya. Kabut asap menyebabkan penyakit pernapasan dan penyakit lainnya pada ratusan ribu orang di seluruh wilayah tersebut. Kebakaran hutan dan lahan dapat diakibatkan mulai dari peningkatan CO₂ (Karbon Dioksida) dan suhu. Peningkatan suhu ini diakibatkan oleh fenomena El Nino yang telah terjadi sehingga menimbulkan dampak yang lebih besar terhadap lahan kering ataupun kondisi pemicu kebakaran hutan di Indonesia. Perubahan iklim global yang terjadi berdampak terhadap musim kemarau yang berkepanjangan sehingga rentan terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Fenomena El Nino dan perubahan iklim global bukanlah faktor utama pemicu terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Indonesia, namun adanya faktor lain (non alamiah) yang menyebabkan kebakaran hutan dan lahan. Pembukaan lahan sawit dengan membakar hutan merupakan kontribusi terbesar pemicu kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Indonesia.

Upaya mitigasi kebakaran hutan perlu dilakukan melalui usaha pencegahan kebakaran hutan secara dini. Salah satu usaha pencegahan adalah melalui pembuatan surveillance sensing system.

Surveillance sensing system merupakan sebuah sistem pengawasan dan pemantauan area-area vital secara terintegrasi. Sistem ini menggunakan teknologi drone, sensor terkini untuk pengawasan seperti sensor partikulat dan sensor kamera. Dengan menggunakan sistem ini, potensi munculnya kebakaran hutan bisa dideteksi lebih awal. Hal ini dimungkinkan karena sistem pengawasan hutan oleh surveillance sensing system dilakukan secara efektif dan efisien.

Ide awal penelitian ini bersumber dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan deteksi kebakaran maupun deteksi titik api pun menjadi sebuah referensi dalam penelitian ini, diantaranya adalah penelitian yang telah dilakukan oleh [2] dan [6] yang melakukan deteksi api dengan berbagai metode seperti multicolour. Untuk deteksi kebakaran sebagai referensi adalah [1] dan [3] yang mempunyai persamaan dalam mendeteksi kebakaran yakni melakukan thresholding berdasarkan warna api pada ruang warna tertentu menggunakan kamera webcam.

Selain itu, penelitian terkait dengan UAV telah sampai pada arah pengembangan UAV sebagai alat mitigasi bencana. Hal ini, dikarenakan UAV sangat efektif penggunaannya untuk sistem pemantauan. Penelitian yang dilakukan oleh [5] dan [4] tentang pengembangan UAV baik dari segi gerak UAV, keseimbangan UAV dan memunculkan potensi UAV dalam fungsinya membantu mitigasi bencana. Perbedaan penelitian ini (proposed method) dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah sangat minim sekali penelitian sebelumnya terkait dengan manajemen kebencanaan dengan penggunaan drone dalam membantu mendeteksi api/kebakaran.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah membuat surveillance sensing system sebagai salah satu cara mendeteksi potensi terjadinya kebakaran hutan. Sistem ini menggunakan drone yang dilengkapi dengan sensor kamera dan partikulat. Drone tersebut akan mengitari suatu kawasan hutan dan mengambil data gambar dan pembacaan sensor. Kemudian suatu analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dari surveillance sensing system apakah kawasan tersebut memiliki potensi terjadinya kebakaran hutan.

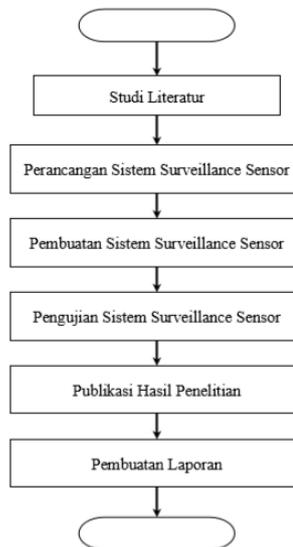
Urgensi dari penelitian ini adalah sebagai salah usaha mitigasi kebakaran hutan secara efektif dan efisien. Surveillance sensing system ini bermanfaat bagi satgas kebakaran hutan dan pemerintah daerah untuk melakukan fungsi pengawasan terhadap suatu kawasan hutan secara luas dan murah. Hasil log pengukuran dari surveillance sensing system ini dapat diolah dan dianalisis untuk memprediksi kejadian atau potensi kebakaran hutan di kemudian hari. Jadi pihak satgas kebakaran hutan dan pemerintah daerah bisa melakukan usaha mitigasi lebih awal untuk mencegah terjadinya kebakaran hutan di daerahnya.

2. Metode Penelitian

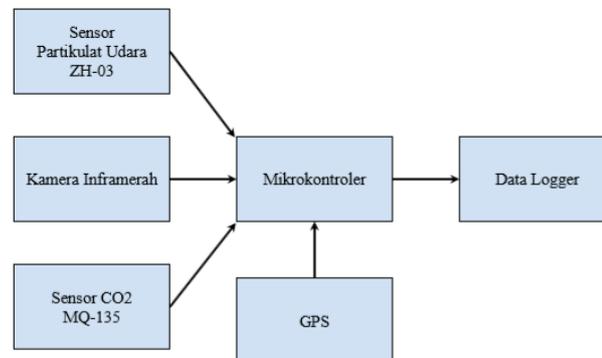
Penelitian ini menggunakan pengiriman secara nirkabel di 433 Mhz untuk memudahkan mobilitas teknologi drone, dan surveillance sensor dalam berkomunikasi dan mengirimkan data ke log penyimpanan data sensor. Adapun alur penelitian yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram alir dimulai dengan studi literatur mencari pustaka terkait teori mitigasi kebakaran hutan dan lahan, teknologi drone, dan surveillance sensor untuk kebakaran hutan dan lahan. Langkah selanjutnya membuat rancangan surveillance sensing system for forest fire untuk kebakaran hutan dan lahan. Sensor-sensor yang digunakan adalah sensor partikel udara, sensor CO₂, dan kamera infra merah. Masing-masing sensor tersebut memiliki peran dalam mendeteksi kebakaran hutan, seperti sensor partikel udara digunakan untuk mengetahui seberapa besar partikel yang ada di udara sekitar hutan. Sensor CO₂ digunakan untuk mengetahui kadar CO₂ dari hasil pembakaran hutan. Kemudian kamera infra merah digunakan untuk mendeteksi hotspot titik api pada hutan yang terbakar. Langkah ketiga pada alur penelitian adalah membuat prototipe surveillance sensing system for forest fire. Target penelitian adalah sebuah prototipe yang dapat digunakan untuk mendeteksi kebakaran hutan dan lahan berbasis metode surveillance dengan menggunakan drone yang sudah ada. Langkah-langkah pengujian prototipe surveillance sensing system for forest fire diantaranya adalah pengujian sub sistem masing-masing sensor, log penyimpanan data sensor

pada kartu memori. Langkah keempat dari penelitian ini adalah membuat publikasi pada jurnal nasional terakreditasi, dan langkah terakhir adalah membuat sebuah laporan akhir penelitian.

Adapun blok sistem yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Sistematika Penulisan



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Rancangan prototipe surveillance sensing system for forest fire

Rancangan prototipe surveillance sensing system for forest fire dapat dilihat pada Gambar 2. Fungsi dari bagian-bagian rancangan tersebut adalah:

1. Sensor Partikel Udara sensor partikel udara yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor ZH-03. merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi partikel berukuran 2.5um dan 10um dengan menggunakan metode laser.
2. Kamera Inframerah kamera ini digunakan untuk mendeteksi hotspot dari api kebakaran hutan.
3. Sensor CO2 sensor ini digunakan untuk mendeteksi kadar karbon dioksida dari proses kebakaran hutan yang berlangsung. sensor yang digunakan adalah MQ-135.
4. Global Positioning Systems (GPS) berfungsi untuk mengetahui data latitude dan longitude posisi pengambilan data dari sensor.
5. Mikrokontroler merupakan perangkat yang digunakan untuk mengolah data dari sensor sensor yang digunakan dan data tersebut akan disimpan dalam data logger.
6. Data logger merupakan instrumen yang berfungsi untuk merekam suatu parameter pengukuran seperti data CO2, jumlah partikel per cm³, data GPS, data hotspot dari kamera.



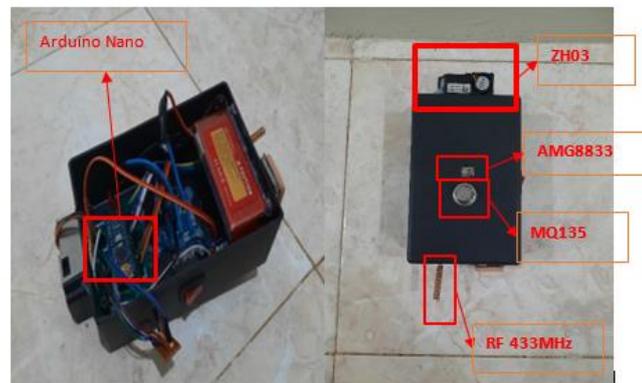
Gambar 3 prototipe surveillance sensing system for forest fire

prototipe surveillance sensing system for forest fire dapat dilihat pada Gambar 3. Perangkat surveillance sensing meliputi sensor partikel udara, CO₂, GPS, dan kamera infra merah akan dipasang pada sebuah drone.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan Alat

Rancangan alat terdiri dari rancangan bagian perangkat transmitter dan bagian perangkat receiver. Pada perangkat transmitter, terdiri dari perangkat mikrokontroller, sensor ZH03, sensor AMG8833, dan sesor MQ135, GPS Neo-M dengan RF Modul 433MHz yang kemudian diletakkan pada box. Berikut hasil perancangan perangkat transmitter.

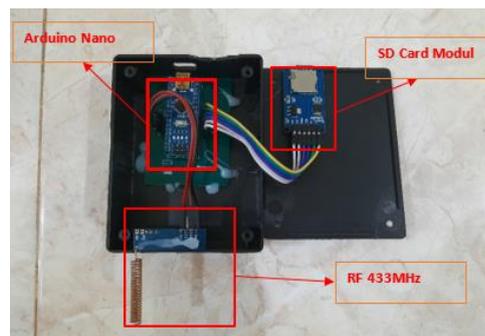


Gambar 4 Hasil Perancangan Hardware pada Pengirim dan Penerima

Pada Gambar 4 dapat dilihat komponen dari perangkat transmitter. Adapun komponen dan kegunaan dari perangkat transmitter adalah sebagai berikut:

1. Arduino Nano pada bagian perangkat transmitter digunakan sebagai mikrokontroler. Arduino Nano dirancang untuk membantu sensor dalam mendeteksi kebakaran yang akan dikirim.
2. Sensor MQ135 digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi asap dari kebakaran hutan. Sensor MQ135 dihubungkan melalui pin analog A0 pada mikrokontroler Arduino Nano.
3. Sensor ZH03A digunakan untuk mendapatkan data partikel yang terkandung dalam asap kebakaran hutan. Sensor ZH03A dihubungkan melalui pin analog A3 pada Arduino Nano.
4. Sensor IR AMG8833 merupakan kamera infra merah 8x8 piksel yang mana digunakan untuk mendapatkan data temperatur dari kebakaran hutan. Sensor IR AMG8833 dihubungkan melalui pin SDA dan SCL pada Arduino Nano atau pada pin A4 dan A5.
5. Modul transmitter RF 433MHz merupakan modul radio frekuensi yang digunakan untuk mengirim data sensor. Modul transmitter RF433MHz menggunakan modulasi ASK dalam proses transmisinya.
6. GPS Ublox Neo-6M merupakan modul GPS yang akan digunakan untuk mendapatkan data koordinat terjadinya kebakaran hutan. GPS Ublox Neo-6M dihubungkan melalui pin D4 dan D5 pada Arduino Nano, yang bertindak sebagai TX dan RX.

Pada mikrokontroler receiver, perancangan diawali dengan menggabungkan perangkat yang terdiri dari mikrokontroler, Modul receiver RF Sedangkan untuk perangkat receiver terdiri dari mikrokontroler modul penerima RF 433MHz, dan Modul SD Card yang kemudian diletakkan pada sebuah box. Berikut adalah tampilan perangkat receiver.



Gambar 5 Hasil Perancangan Hardware pada Penerima

Pada Gambar 5 dapat dilihat komponen dari perangkat receiver. Adapun komponen dan kegunaan dari perangkat receiver adalah sebagai berikut:

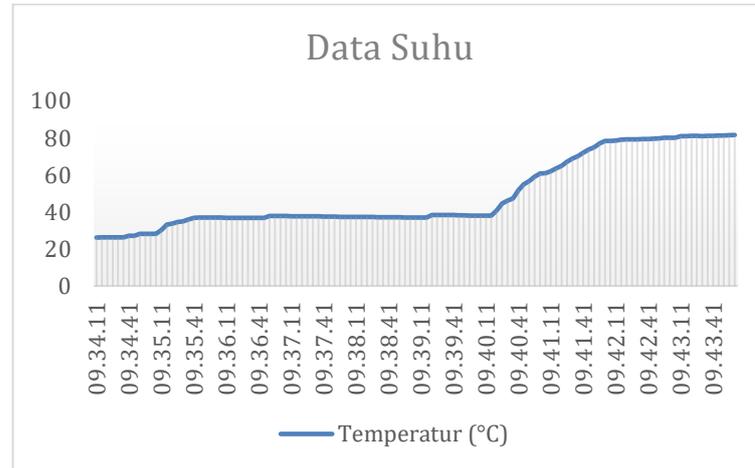
1. Arduino Nano digunakan sebagai mikrokontroler untuk memproses data dari Modul RF 433MHz untuk siap disimpan ke dalam SD Card.
2. Modul receiver RF 433MHz akan digunakan sebagai penerima sinyal dari pemancar yang nantinya akan diproses ke mikrokontroler.
3. Modul SD Card merupakan modul penyimpanan yang akan digunakan untuk menyimpan data yang diterima dari pemancar, agar data dapat lebih mudah untuk diolah

3.2 Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan menjalankan sistem yang diinstalasi di area ruang terbuka di salah satu lapangan yang berlokasi di Rumbai - Pekanbaru. Pengujian meliputi pembacaan dan pengiriman data sensor dari mikrokontroler pemancar pada drone ke sd card mikrokontroler penerima dalam rentang waktu tertentu. Data yang disimpan di sd card selanjutnya di simpan dalam format csv dan akan diolah sesuai kebutuhan. Berikut merupakan pembahasan terhadap pengujian hasil pembacaan sensor.

1) Sensor Suhu Kamera

Pada penelitian sebelumnya,[1]&[2] kebakaran dideteksi menggunakan pengolahan citra berdasarkan warna dan deteksi tepi yang ditangkap oleh webcam, sedangkan pada penelitian ini menggunakan sensor suhu kamera. Faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai suhu diantaranya ialah kondisi cahaya dan penyinaran dari sinar matahari, Jarak sensor dengan sumber panas, ketinggian sensor alat diletak, dan kondisi geografis.

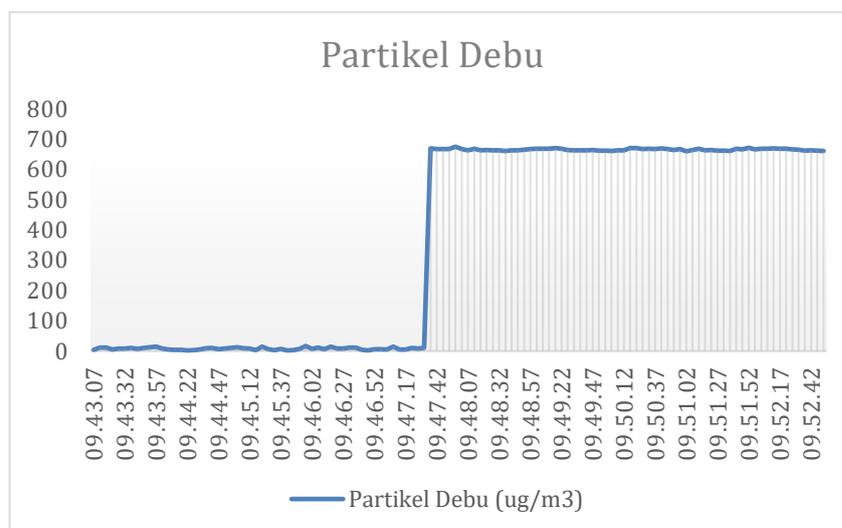


Gambar 6 Hasil pembacaan sensor AMG8833

Hasil pengamatan terhadap parameter suhu oleh sensor dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik dapat dilihat bahwa pembacaan sensor dalam keadaan suhu normal rata-rata adalah 35,55° C. Sedangkan jika ada sumber api yang terdeteksi, sensor akan bernilai rata-rata adalah 72,34 ° C dengan nilai tertinggi di 81,66 ° C.

2) Sensor Partikel Debu

Faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai partikel debu adalah asap dari sumber api dan debu dari sumber polusi, serta jarak sensor dengan sumber asap dan debu.

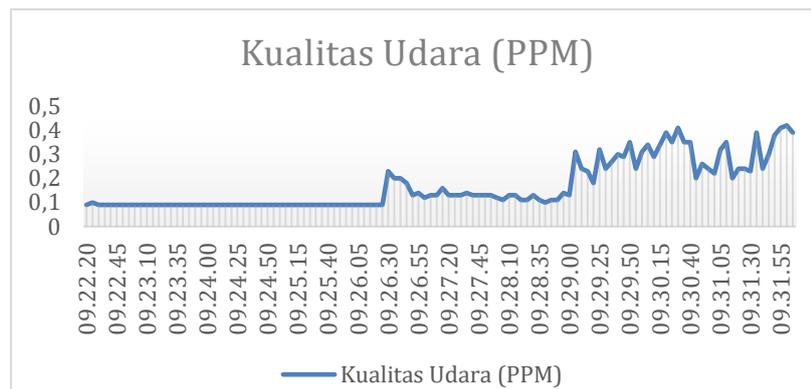


Gambar 7 Hasil pembacaan sensor ZH03A

Hasil pengamatan terhadap parameter partikel debu oleh sensor dapat dilihat pada Gambar 5. Dari grafik dapat dilihat bahwa pembacaan sensor dalam keadaan partikel debu normal rata rata adalah $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan jika ada sumber asap dan debu yang terdeteksi, sensor akan bernilai rata-rata adalah $665,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai tertinggi di $671 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3) Sensor Kualitas Udara

Faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai kualitas udara adalah Polusi yang mencemarkan udara seperti asap dan debu, serta jarak sensor dengan sumber polusi tersebut. Hasil pengamatan terhadap parameter kualitas udara oleh sensor dapat dilihat pada Gambar 8.

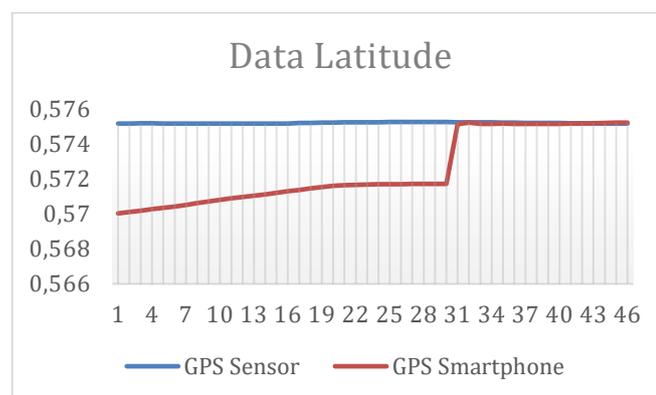


Gambar 8 Hasil Pembacaan sensor MQ135

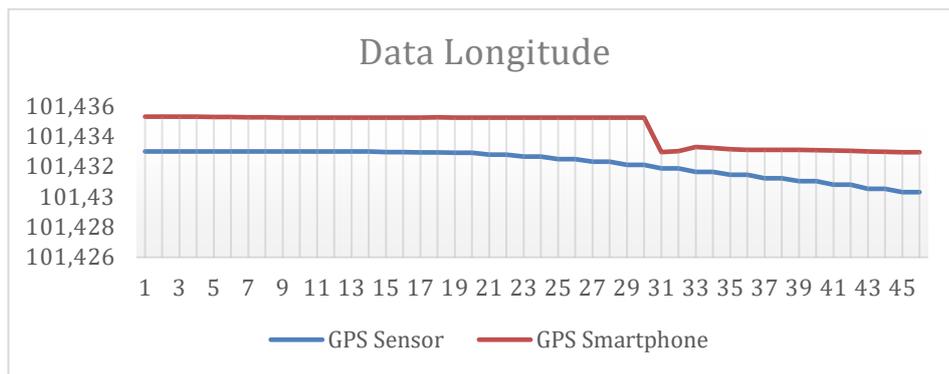
Dari grafik dapat dilihat bahwa pembacaan sensor dalam keadaan partikel debu normal rata rata adalah 0,09 ppm. Sedangkan jika ada sumber asap dan debu yang terdeteksi, sensor akan bernilai rata-rata adalah 0,225 ppm dengan nilai tertinggi di 0,42 ppm.

3.2 Pengujian Akurasi GPS

Pada penelitian sebelumnya,[1] koordinat sumber api tidak diuji menggunakan GPS. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil data gps pada sensor dengan sensor gps yang digunakan oleh *smartphone* dari SPN Rumbai ke Depan Pintu Stadion. Hasil pengamatan data GPS dapat dilihat pada Gambar 9 & 10.



Gambar 9 Hasil Perbandingan Data Latitude GPS Sensor dan GPS Smartphone



Gambar 10 Hasil Perbandingan Data Longitude GPS Sensor dan GPS Smartphone

Dari grafik dapat dilihat bahwa pembacaan sensor GPS sudah mendekati data GPS *smartphone*. Namun terdapat selisih hasil pembacaan meskipun tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena peletakan sensor dengan sensor GPS *smartphone* tidak dalam kondisi yang sama persis meskipun berada pada satu lokasi. Nilai rata-rata kesalahan relative pembacaan sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kesalahan Pembacaan Sensor GPS Neo 6 terhadap GPS Smartphone

No	Rata-rata persentasi error Latitude (%)	Rata-rata persentasi error Longitude (%)
1	0,43	0.42

3.3 Pengujian Jarak Pengiriman

Pada penelitian sebelumnya,[1] data tidak dikirim menggunakan koneksi nirkabel. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil data sensor yang dikirimkan dari Arduino pada drone dengan data sensor yang diterima oleh sd card Arduino sebanyak 100 kali pengiriman. Hasil pengamatan terhadap data dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Kesalahan Pembacaan Sensor RF433 terhadap jarak

No	Jarak (m)	Rata-rata persentasi error (%)
1	25	0
2	50	77
3	75	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa pengiriman data sensor terbaik pada jarak 25 meter. Hal ini disebabkan karena kemampuan modul rf433 dalam mengirim dan menerima data serta pengaruh

obstacle yang menghalangi pengiriman data. Nilai rata-rata kesalahan relative pembacaan sensor dapat dilihat pada Tabel 2.

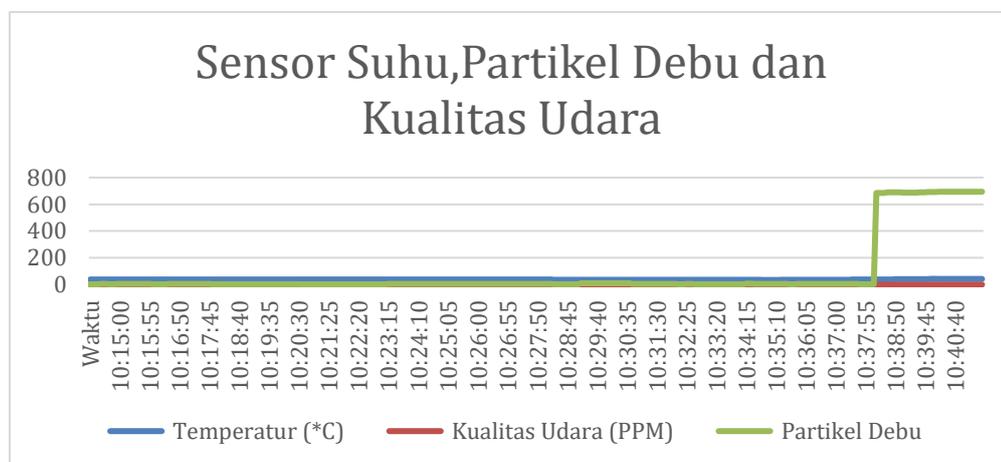
3.4 Tampilan & Pengujian Penyimpanan data sensor

Pada penelitian sebelumnya,[1] data tidak disimpan di SD Card Data yang sudah terbaca pada arduino akan disimpan ke SD card dalam format csv agar data didapat bisa diolah menggunakan Ms Excel. Tampilan data sensor yang telah disimpan dapat dilihat pada gambar 11.

Waktu	Latitude	Longitude	Temperatur (*C)	Kualitas Udara (PPM)	Partikel Debu
10:14	0,571868	101,42442	38	0,04	2
10:14:15	0,571868	101,42442	38	0,04	2
10:14:20	0,571868	101,42442	38	0,04	2
10:14:25	0,571868	101,42442	38	0,04	2
10:14:30	0,571895	101,42446	37,88	0,04	4
10:14:35	0,571895	101,42446	37,88	0,04	4
10:14:40	0,571895	101,42446	37,88	0,04	4
10:14:45	0,571991	101,42445	37,75	0,04	3
10:14:50	0,571991	101,42445	37,75	0,04	3

Gambar 11 Tampilan data sensor yang disimpan dalam bentuk csv

Berikut data Sensor yang telah diterima oleh SD Card selama 25 menit. Pada menit ke 22 terdeteksi sumber panas yang menyebabkan perubahan nilai sensor yang diterima pada SD Card Arduino. Hasil pengamatan data sensor suhu,Partikel Debu dan kualitas udara dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Data Sensor Suhu, partikel debu dan kualitas udara

4. Kesimpulan

Hasil Pengujian dalam rentang waktu tertentu menunjukkan bahwa sensor berjalan dengan baik. Seluruh sensor yang digunakan akan menunjukkan perubahan nilai ketika ada sumber panas dan api yang terdeteksi. Hasil Sensor suhu rata-rata adalah 72,34 ° C. Sedangkan hasil sensor partikel debu adalah 665,45 µg/m³. Dan untuk sensor kualitas udara rata-rata adalah 0,225 ppm. Untuk data GPS sensor memiliki akurasi 99,5%. Untuk proses pengiriman data juga telah berjalan dengan baik karena data yang dikirim dan tersimpan di sd card Arduino penerima telah menunjukkan nilai yang sama dengan data yang dibaca oleh Arduino sebelum dikirimkan. Untuk jarak pengiriman maksimal yang bisa digunakan adalah 0-40 meter.

Daftar Pustaka

- [1] Feriadi, Andri, & Widyarto, S. (2012). Deteksi Lokasi Titik Api Pada Kebakaran Hutan Menggunakan Colour Image Prossessing. *Seminar Nasional Informatika*, 30 Juni(semnasIF), 1-5
- [2] Firdausy, K., Saudi, Y., & Sutikno, T. (2007). Deteksi Api Real-Time Dengan Metode Thresholding Rerata Rgb. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 5(2), 127. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v5i2.1352>
- [3] Hanifah, M., Syaufina, L., & Prasasti, I. (2016). The detection of burnt area using medium resolution satellite imagery of MODIS based on fire index approach. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 6(1), 77–85. <https://doi.org/10.19081/jpsl.6.1>.
- [4] M. Fadhil Abdullah, Inung Wijayanto, A. R. (2016). *Implementasi Algoritma Pendeteksi Api Berdasar Komposisi Warna Citra Digital Pada Quadcopter Yang Bergerak Otomatis*. 3(June), 1978–1985. Retrieved from <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/621>
- [5] Sartika, D. A., & Hardiyanto, D. (2017). Kendali Formasi Multi-UAV menggunakan Line of Sight (LOS) Guidance Law. *Setrum : Sistem KendaliTenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 6(1), 68. <https://doi.org/10.36055/setrum.v6i1.1750>
- [6] Shidik, G. F., Adnan, F. N., Pramunendar, R. A., Supriyanto, C., & Andono, P. N. (2013). *Deteksi Api dengan MultiColorFeature s , Background Subtraction dan Morphology*. 2013(November), 134–140.