



IMPLEMENTASI *INTERNET OF THINGS* (IOT) DALAM MONITORING KUALITAS UDARA PADA RUANG TERBUKA

Jesi Pebralia^{1*}, Hamdi Akhsan², Iful Amri³

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Sain dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Ma. Bulian KM15, Muaro Jambi

^{2,3} Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang-Prabumulih, KM 32, Ogan Ilir

E-mail*: jesipebralia@unja.ac.id

Diterima 31 Oktober 2023

Disetujui 29 Maret 2024

Dipublikasikan 19 April 2024

<https://doi.org/10.33369/jkf.7.1.1-8>

ABSTRAK

Saat ini, peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara memerlukan solusi monitoring yang efisien dan mudah diakses. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem monitoring kualitas udara di ruang terbuka dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan Google Sheet. Terdapat empat parameter yang dimonitoring yaitu konsentrasi gas karbondioksida (CO₂), konsentrasi gas karbondioksida (CO), suhu, dan kelembaban udara dengan menggunakan ESP32 sebagai pengatur seluruh proses dalam sistem. ESP32 merupakan sebuah modul mikrokontroler dengan fitur mode ganda yakni WiFi dan Bluetooth. Selain itu, sumber energi listrik yang dipakai berasal dari tenaga matahari yang dikonversi menggunakan panel surya. Uji coba system monitoring dilakukan pada pukul 06.30 WIB sampai 22.51 WIB, dimana system instrumentasi di pasang pada ruang terbuka dengan ketinggian 2 m diukur dari permukaan tanah. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem IoT dapat melakukan pemantauan secara realtime dan efisien dalam mendeteksi variasi setiap detik terhadap parameter kualitas udara yang diukur. Sistem monitoring berbasis IoT dan Google Sheet ini menawarkan solusi monitoring kualitas udara yang hemat biaya, efisien, dan interaktif, serta memudahkan partisipasi masyarakat dalam upaya pemantauan kualitas udara.

Kata kunci—Google sheet, Internet of Things (IoT), Kualitas Udara, Monitoring

ABSTRACT

Nowadays, the increasing public awareness of air quality necessitates efficient and easily accessible monitoring solutions. This research aims to develop an open-space air quality monitoring system by leveraging Internet of Things (IoT) technology integrated with Google Sheet. Four parameters are monitored: carbon dioxide (CO₂) concentration, carbon monoxide (CO) concentration, temperature, and humidity. The microcontroller used is the ESP-32, and the electrical energy source is derived from solar power, converted by solar panels. The monitoring system trial ran from 06:30 to 22:51 local time, where the instrumentation system was installed in an open space at a height of 2 meters from the ground level. Trial results show that the IoT system can monitor in real-time and efficiently detect second-to-second variations in the measured air quality parameters. This IoT and Google Sheet-based monitoring system offers a cost-effective, efficient, and interactive solution, facilitating community participation in air quality monitoring efforts.

Keywords—Air quality, Google sheet, Internet of Things (IoT), Monitoring system

I. PENDAHULUAN

Udara, sebagai salah satu elemen paling dasar bagi kehidupan, memiliki komponen dan karakteristik yang dapat mendukung ataupun mengganggu kesehatan dan kesejahteraan makhluk hidup dan lingkungan. Bukan hanya bagi manusia, kualitas udara juga memiliki dampak signifikan terhadap keseimbangan ekosistem dan kehidupan biota lainnya. Udara yang kita hirup setiap hari tak hanya merupakan kebutuhan dasar untuk keberlangsungan hidup, tetapi juga sebuah indikator kualitas lingkungan dan kesejahteraan masyarakat (1). Kualitas udara yang baik menandakan sebuah ekosistem yang sehat dan mendukung kesehatan optimal bagi manusia. Sebaliknya, udara



yang terpolusi bisa menjadi sumber berbagai masalah kesehatan, dari yang ringan hingga yang kronis, dan dapat merusak ekosistem yang kita andalkan.

Kualitas udara dapat dipengaruhi oleh berbagai factor, diantaranya kebakaran hutan (2), meningkatnya jumlah kendaraan bermotor (3), tumbuhnya kawasan industry (4), pertumbuhan penduduk (5), alih guna lahan (6), dan lain sebagainya (7,8). Menurut World Health Organization (WHO) global air quality guidelines terdapat beberapa partikulat dan gas-gas yang menjadi indikator kualitas udara, diantaranya particulate matter (PM) 2.5, PM 10, ozone, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan karbon monoksida (CO) (9).

Kualitas udara tidak hanya dipengaruhi oleh polutan berbahaya, tetapi juga oleh parameter dasar seperti suhu, kelembaban, dan kadar gas tertentu yang ada di atmosfer (10–12). Dalam konteks perubahan iklim dan pertumbuhan urbanisasi, pemahaman dan pemantauan terhadap komponen-komponen tersebut menjadi semakin penting. Suhu dan kelembaban memiliki pengaruh langsung terhadap kesejahteraan dan kenyamanan manusia (13,14), sementara gas-gas seperti karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂) memainkan peran penting dalam kesehatan manusia serta keseimbangan lingkungan global (15–17).

Di era saat ini, monitoring kualitas udara menjadi sangat penting karena dampak langsungnya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Dengan meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi, polutan udara telah terkait dengan berbagai kondisi kesehatan, seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Memantau kualitas udara memungkinkan pencegahan dini, respons cepat terhadap keadaan berbahaya, serta informasi akurat bagi masyarakat untuk mengambil tindakan protektif, sambil mendukung pembuatan kebijakan yang efektif oleh pemerintah dan stakeholder terkait.

Monitoring kualitas udara dapat dilakukan menggunakan berbagai macam metode. Beberapa metode monitoring kualitas udara yang masih digunakan antara lain metode pemantauan berbasis satelit (18,19). Satelit dapat memantau kualitas udara di skala global, memberikan gambaran komprehensif tentang distribusi dan pergerakan polutan di seluruh dunia. Akan tetapi, meskipun memiliki cakupan luas, resolusi spasial data satelit tidak lebih detail dibandingkan dengan metode darat, sehingga tidak cocok untuk pemantauan di skala kota atau lingkungan yang lebih kecil. Selain itu, awan dan partikulat lainnya dapat mengganggu pengukuran, membuat data kurang akurat pada kondisi tertentu. Metode pemantauan kualitas udara lainnya yaitu metode pemantauan pada stasiun udara tetap (20–22). Stasiun-stasiun ini dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mengukur konsentrasi polutan tertentu dan ditempatkan di lokasi strategis di seluruh kota atau wilayah. Stasiun pemantauan tetap pada umumnya dilengkapi dengan peralatan canggih yang dapat memberikan data dengan akurasi yang tinggi. Dengan lokasi yang tetap, stasiun pemantauan dapat menyediakan data historis dari satu titik selama bertahun-tahun dan memudahkan analisis tren. Akan tetapi, stasiun pemantauan tetap hanya dapat memantau kondisi udara di sekitar lokasi tempat stasiun tersebut berada, sehingga tidak mewakili area yang lebih luas. Selain itu, diperlukan biaya yang cukup mahal untuk membangun dan memelihara stasiun pemantauan tetap. Seiring dengan perkembangan teknologi, metode pemantauan kualitas udara juga dapat dilakukan menggunakan system drone. Drone dapat mencapai lokasi yang sulit dijangkau oleh manusia atau kendaraan darat, seperti daerah terpencil, pegunungan, atau lahan terpencil, yang seringkali sulit diakses. Akan tetapi, drone memiliki kelemahan yaitu waktu terbang yang terbatas karena batasan baterai. Hal ini membatasi kemampuannya untuk pemantauan jangka panjang (23,24).

Sementara itu metode pemantauan yang cukup populer dan sedang banyak dikembangkan saat ini yaitu metode pemantauan dengan sensor portable. Perakitan komponen sensor dengan diintegrasikan pada mikrokontroller untuk tujuan deteksi parameter tertentu telah banyak dikerjakan oleh peneliti terdahulu dan diperoleh tingkat performansi yang baik. Mikrokontroller dapat dihubungkan dengan berbagai sensor, diantaranya sensor ultrasonic sebagai pendeteksi objek bergerak (25,26), sensor warna TCS3200 untuk deteksi kafein kopi (27), flex sensor yang digunakan untuk mendeteksi retakan tanah (28), dan lain sebagainya. Dalam hal pendeteksi suhu, beberapa penelitian telah berhasil dikembangkan dengan memanfaatkan beberapa jenis sensor suhu diantaranya sensor MLX90614 yang digunakan untuk mendeteksi suhu tinggi secara non-kontak

(29), sensor DHT-11 yang digunakan untuk mendeteksi suhu kompos (30). Sementara itu, pengukuran parameter kelembaban dapat dilakukan diantara menggunakan sensor DHT 11 dan sensor YL-69 (31).

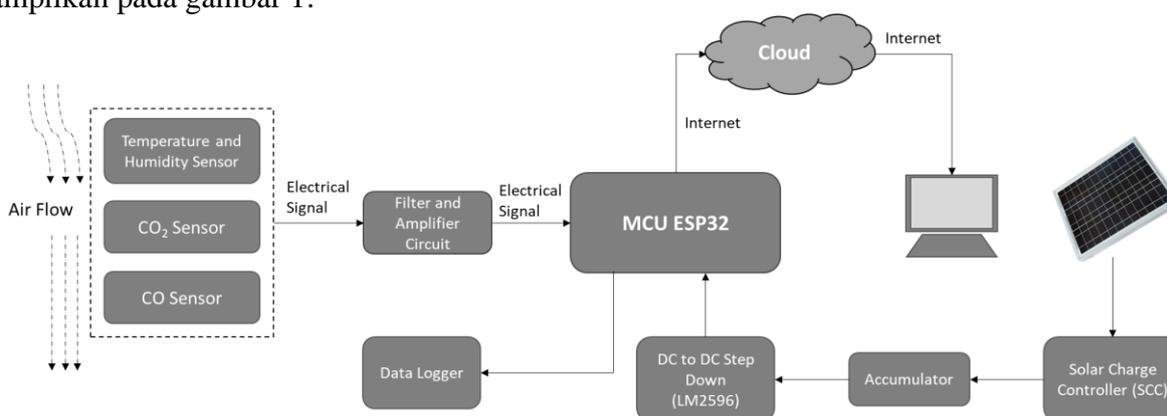
Sistem monitoring kualitas udara berbasis system sensor portable dapat dilakukan secara kontak langsung maupun non-kontak. Monitoring kualitas udara secara kontak langsung dilakukan dengan cara mendatangi lokasi pemantauan secara langsung dan pada saat yang bersamaan, petugas pemantauan melakukan pencatatan terhadap parameter-parameter yang diamati. Proses monitoring seperti ini tidak cukup efisien jika dilakukan dalam durasi yang lama. Terlebih jika akan memonitoring kualitas udara pada lokasi-lokasi yang ekstrem dan sulit dijangkau. Oleh karena itu, sistem monitoring secara non-kontak muncul sebagai alternatif yang dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil monitoring yang efisien. Sistem monitoring non-kontak yang paling populer saat ini yaitu sistem monitoring berbasis teknologi internet of things (IoT). Beberapa penelitian yang telah berhasil mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT diantaranya pembuatan sistem monitoring kebisingan berbasis IoT menggunakan sensor suara GY-MAX4466 (32). Pada penelitian tersebut, aplikasi blynk digunakan sebagai platform yang berfungsi menampilkan data monitoring. Penelitian lainnya yaitu pembuatan sistem monitoring kebakaran hutan berbasis IoT (33). Penelitian tersebut juga menggunakan aplikasi blynk sebagai platform visualisasi data.

Berdasarkan penjelasan di atas dimana penting sekali untuk dilakukan proses monitoring kualitas udara. Maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan sistem monitoring kualitas udara berbasis teknologi IoT. Terdapat empat parameter yang digunakan yaitu konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2), konsentrasi gas karbon monoksida (CO), suhu, dan kelembaban udara. Sementara itu, dalam rangka meningkatkan fleksibilitas sistem pengumpulan dan visualisasi data, maka pada penelitian ini, digunakan software Google sheet sebagai platform pendukung IoT.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem Instrumentasi

Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu konsentrasi gas karbondioksida, konsentrasi gas karbonmonoksida, suhu, dan kelembaban udara. Masing-masing parameter dipantau secara jarak jauh dan realtime menggunakan teknologi IoT. System instrumentasi dibangun menggunakan ESP-32 yang merupakan mikrokontroler pendukung IoT, sensor MQ7 sebagai pendeteksi gas karbonmonoksida, sensor MQ-811 sebagai pendeteksi gas karbondioksida, dan sensor DHT-11 sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban udara. Blok diagram system monitoring kualitas udara ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram system monitoring kualitas udara berbasis IoT

Data dari masing-masing sensor akan dikirim ke system rangkaian penguat dan kemudian dikirim ke mikrokonroller. Selanjutnya data akan ditransfer ke system cloud melalui internet dan akan masuk ke database googlesheet sehingga dapat ditampilkan pada layar computer dan ataupun smartphone. System monitoring berbasis IoT dibangun menggunakan googlesheet sebagai penyimpan data dan sekaligus sebagai interface yang dapat menampilkan visualisasi data secara realtime. System monitoring kualitas udara yang dibangun memanfaatkan energi listrik

dari tenaga surya dimana terdapat solar panel sebagai pengkonversi tenaga surya menjadi energi listrik dan aki sebagai penyimpan energi.

2. 2 Desain Eksperimen

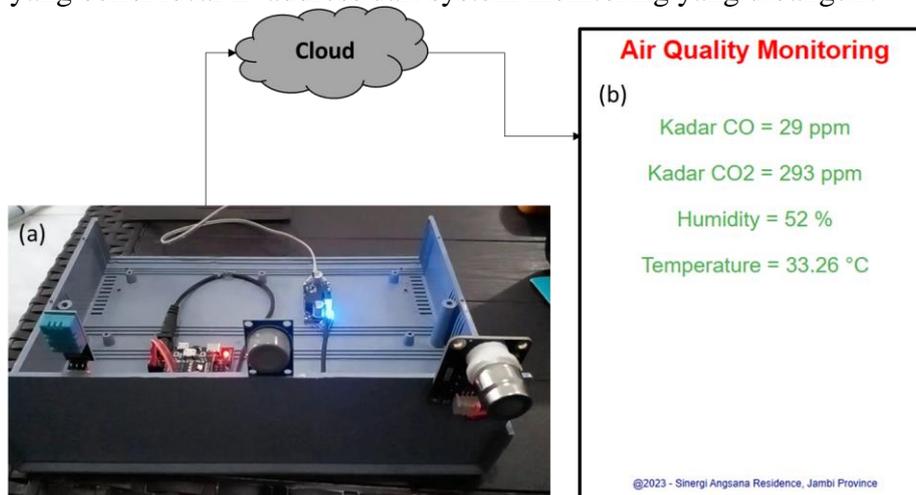
Ekperimen didesain terhadap pengukuran kualitas udara berdasarkan empat parameter yaitu konsentrasi gas CO₂, CO, suhu, dan kelembaban udara. Sistem instrumentasi dipasang pada lingkungan terbuka dengan ketinggian 2 m diukur dari atas permukaan tanah. Hal ini bertujuan agar memungkinkan udara luar atau lingkungan langsung dapat mengenai sensor tanpa melewati penghalang, seperti dinding, tiang, ataupun pagar rumah. Proses monitoring dilakukan pada siang dan malam hari. Tujuannya adalah untuk melihat perbandingan terhadap kualitas udara pada siang dan malam hari.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT

Monitoring kualitas udara dilakukan pada rentang waktu pukul 06.30 WIB sampai 22.51 WIB. Rentang waktu tersebut diambil berdasarkan aktivitas yang dilakukan oleh penduduk, mulai pagi hari hingga malam hari. Namun, secara keseluruhan sistem dapat bekerja secara 24 jam dengan melakukan pengiriman data secara periodik setiap 5 detik. Data hasil monitoring ditampilkan pada gambar 3. Berdasarkan gambar 3, dapat dilihat bahwa system monitoring berbasis IoT dapat menampilkan data secara realtime pada layar monitoring. Teknologi IoT yang dibangun pada system monitoring ini adalah IoT yang berbasis Google sheet. Pengiriman data ke system cloud berbasis google sheet memungkinkan system instrumentasi yang dibangun dan pengguna (user) dapat saling terhubung satu sama lain melalui internet.

Keunggulan dari penggunaan IoT berbasis Google sheet ini adalah karena software Google sheet merupakan software yang bersifat open source, sehingga peneliti dapat mengembangkan system monitoring dengan lebih fleksibel. Selain itu, penggunaan Google sheet bersifat lebih efisien dan user friendly karena proses monitoring dapat dilakukan oleh siapa saja tanpa melakukan instalasi aplikasi tambahan. Pengguna dapat langsung melakukan proses monitoring dengan hanya mengklik link yang berisi local IP address dari system monitoring yang dibangun.



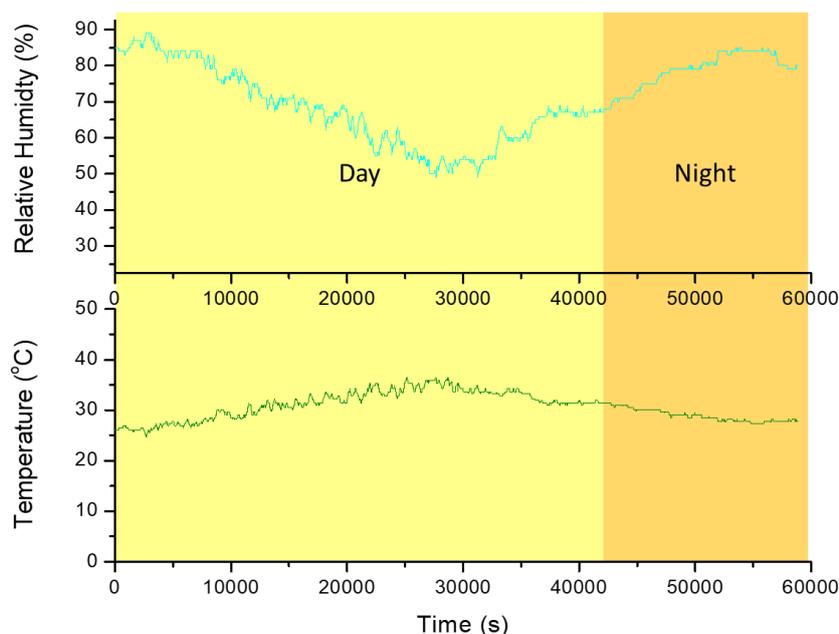
Gambar 2. (a) Sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. (b) Tampilan layer system monitoring IoT-Google sheet

3.2 Monitoring Temperatur dan Kelembaban Udara

Suhu dan kelembaban udara memiliki peran penting dalam menentukan kualitas udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia, lingkungan, dan berbagai aspek kehidupan lainnya. Suhu dan kelembaban yang tidak nyaman dapat mengurangi produktivitas dan kenyamanan, baik di dalam maupun di luar ruangan. Selain itu, suhu dan kelembaban juga dapat mempengaruhi proses biologis tanaman dan hewan. Misalnya, kelembaban yang terlalu rendah atau suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Dalam aspek ketahanan bangunan, peranan

kelembaban udara merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan. Kelembaban tinggi dapat mempercepat proses korosi pada bahan-bahan tertentu dan dapat merusak bangunan atau struktur lainnya. Di sisi lain, kelembaban yang rendah dapat menyebabkan retakan pada kayu dan bahan lainnya. Monitoring terhadap perubahan suhu dan kelembaban merupakan langkah kunci untuk memastikan kualitas udara yang baik dan kesejahteraan manusia.

Sensor DHT-11 merupakan sensor pendeteksi suhu dan kelembaban yang populer dan mempunyai harga yang terjangkau. Rentang suhu yang dapat dideteksi yaitu berada pada rentang 0 – 50 C. sehingga sensor ini sangat cocok untuk digunakan pada pemantauan suhu udara. Data hasil monitoring suhu dan kelembaban udara ditampilkan pada gambar 3.

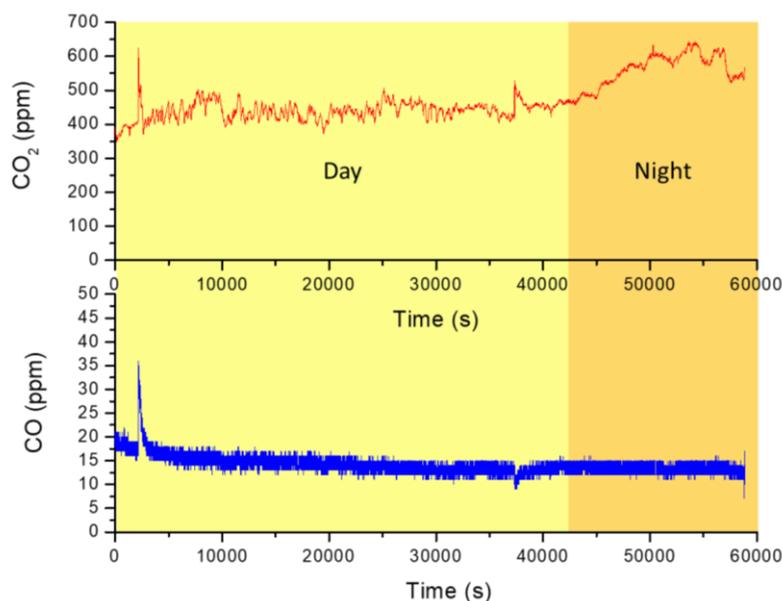


Gambar 3. Data monitoring suhu dan kelembaban udara

Berdasarkan data hasil monitoring yang ditampilkan pada gambar 3, grafik nilai suhu dan temperature mempunyai trend yang berkebalikan. Dimana ketika suhu meningkat, maka nilai kelembaban menurun. Sebaliknya, ketika nilai suhu menurun, maka nilai kelembaban meningkat. Masing-masing parameter suhu dan kelembaban udara saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain.

3.3 Monitoring Gas Karbondioksida (CO₂) dan Karbonmonoksida (CO)

Konsentrasi CO yang tinggi dalam udara dapat mempengaruhi kesehatan pernapasan dan kardiovaskular, serta dapat menyebabkan gejala seperti pusing, kebingungan, kelelahan, dan pada tingkat yang sangat tinggi, kematian. Selain itu, peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer berkontribusi pada perubahan iklim. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan pemantauan terhadap parameter kualitas udara tersebut. Data hasil monitoring konsentrasi gas CO dan CO₂ ditampilkan pada gambar 4. Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata konsentrasi gas CO₂ yang dimonitoring mulai pukul 06.30 WIB pagi hari sampai pukul 22.51 WIB malam hari yaitu 473 ppm. Konsentrasi gas CO₂ mengalami fluktuasi yang tajam pada pukul 07.00 WIB. Hal ini disebabkan karena meningkatnya traffic kendaraan bermotor yang melewati system monitoring pada pagi hari. Akan tetapi, jika diamati nilai konsentrasi gas CO₂ pada siang dan malam hari, dapat dilihat bahwa konsentrasi gas CO₂ mengalami peningkatan pada malam hari dibandingkan dengan nilai konsentrasi gas CO₂ pada siang hari. Hal ini dapat disebabkan karena tidak adanya aktivitas fotosintesis yang terjadi di waktu malam.



Gambar 4. Data hasil monitoring konsentrasi gas CO₂ dan gas CO pada siang dan malam hari

Sementara itu, nilai rata-rata konsentrasi gas CO pada saat monitoring yaitu 14 ppm. Sebagaimana trend yang ditunjukkan oleh konsentrasi gas CO₂ pada pukul 07.00 WIB, nilai konsentrasi gas CO juga mengalami fluktuasi tajam pada waktu tersebut. Hal ini sejalan dengan fakta di lapangan, bahwa pada waktu pagi hari, khususnya pada kisaran pukul 07.00 WIB, terdapat lalu lintas kendaraan bermotor yang cukup banyak di sekitar pemasangan system monitoring. Padatnya lalu lintas kendaraan bermotor tersebut dapat menjadi salah satu factor meningkatnya konsentrasi gas CO dan CO₂ yang disebabkan karena adanya sisa pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna dan dikeluarkan melalui knalpot. Selanjutnya, berdasarkan gambar 4, nilai konsentrasi gas CO mengalami penurunan pada waktu malam hari. Hal ini disebabkan karena berkurangnya lalu lintas kendaraan bermotor pada waktu malam.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dibangun sebuah system monitoring kualitas udara berbasis IoT. Terdapat empat parameter udara yang dimonitor yaitu konsentrasi gas CO₂, konsentrasi gas CO, suhu, dan kelembaban udara. Implementasi teknologi IoT pada system monitoring kualitas udara dibangun menggunakan software Google sheet. Monitoring kualitas udara dapat dilakukan secara realtime dan penggunaan Google sheet menjadikan proses monitoring dapat berjalan dengan efisien karena pengguna tidak perlu melakukan instalasi aplikasi tambahan baik pada computer maupun pada smartphone. Hasil monitoring menunjukkan bahwa nilai dari parameter kualitas udara yang diamati mengalami perubahan yang sesuai dengan teori. Dimana nilai suhu dan kelembaban udara menunjukkan trend yang berbanding terbalik satu sama lain. Sedangkan nilai konsentrasi gas CO₂ dan gas CO mengalami perubahan sesuai dengan kondisi di lapangan yang mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya.

4.2 Saran

Adapun saran bagi pengembangan peneliti ini adalah untuk menambahkan durasi waktu monitoring misal monitoring selama 3 hari atau 1 minggu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Li W, Shao L, Wang W, Li H, Wang X, Li Y, et al. Air quality improvement in response to intensified control strategies in Beijing during 2013–2019. *Science of the Total Environment* [Internet]. 2020;744:140776. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140776>
2. Yunvi ES, Chandra I, Salam RA. Analisis Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan Data Titik Panas

- Dan Cuaca Untuk Pemasangan Alat Kualitas Udara Di Provinsi Riau Analysis of Potential Forest Fire Using Hotspot and Weather Data for Installation Ofair Quality Monitoring System in Riau Provinc. e-Proceeding of Engineering [Internet]. 2021;8(2):1798–805. Available from: <https://aqicn.org/data-platform/register/>.
3. Indrayani I, Asfiati S. Pencemaran Udara Akibat Kinerja Lalu-Lintas Kendaraan Bermotor Di Kota Medan. *Jurnal Permukiman*. 2018;13(1):13.
 4. Safira MD, Syafiuddin A, Fasya AHZ, Setianto B. Literature Review: Kualitas Udara Di Kawasan Industri Di Berbagai Lokasi Di Indonesia. *Journal Public Health*. 2022;9(2):38–47.
 5. Ayu P, Oktavia¹ D, Yunitasari D, Yuliaty³ L. Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi dan Pertumbuhan Penduduk terhadap Kualitas Udara di Kawasan Gerbangkertosusila The Effect of Economic and Population Growth on Air Quality in The Gerbangkertosusila Area. *EKOPEM: Jurnal Ekonomi Pembangunan*. 2021;6(4):1–9.
 6. Sonyinderawan F. Dampak Alih Fungsi Lahan Sawah Menjadi Non Pertanian Mengakibatkan Ancaman Degradasi Lingkungan. *JURNAL SWARNABHUMI: Jurnal Geografi dan Pembelajaran Geografi*. 2020;5(2):36.
 7. Jain A. Pengaruh Sektor Industri Pengolahan Dan Bangunan Terhadap Kualitas Udara Kota Pekanbaru. *e-conversion - Proposal for a Cluster of Excellence*. 2018;1–16.
 8. Haryoto R, Dan I, Purwanta W. Perubahan Lingkungan dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan iklim di Bandar Udara Hasanuddin , Makassar Environmental Change and Adaptation Strategies to Climate Change Impact at Hasanuddin Airport , Makassar. 2013;80–7.
 9. WHO. Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. 2022 [cited 2023 Sep 20]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
 10. Duppa A, Daud A, Bahar B. Kualitas Udara Ambien Di Sekitar Industri Semen Bosowa Kabupaten Maros. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim*. 2020;3(1):86–92.
 11. Samad A, Nuñez DRO, Castillo GCS, Laquai B, Vogt U. Effect of relative humidity and air temperature on the results obtained from low-cost gas sensors for ambient air quality measurements. *Sensors (Switzerland)*. 2020;20(18):1–29.
 12. Lepeule J, Litonjua AA, Gasparrini A, Koutrakis P, Sparrow D, Vokonas PS, et al. Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. *Environmental Research [Internet]*. 2018;165(March):110–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.039>
 13. Cao T, Lian Z, Ma S, Bao J. Thermal comfort and sleep quality under temperature, relative humidity and illuminance in sleep environment. *Journal of Building Engineering [Internet]*. 2021;43(March):102575. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102575>
 14. Ige SO, Ajayi VO, Adeyeri OE, Oyekan KSA. Assessing remotely sensed temperature humidity index as human comfort indicator relative to landuse landcover change in Abuja, Nigeria. *Spatial Information Research*. 2017;25(4):523–33.
 15. Kurniawan A. Pembuatan Model Sederhana Pengaruh Gas CO₂, So₂ Dan No₂ Terhadap Tingkat Keasaman Air Hujan. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 2011;12(1).
 16. Kusminingrum N. Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO₂ DAN Co untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Jurnal Permukiman*. 2008;3(2):96.
 17. Abidin J, Artauli Hasibuan F, Kunci K, Udara P, Gauss D. Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding SNFUR-4*. 2019;2(2):978–9.
 18. Emir Aulia, Chadirin Y, Pribadi A. Analisis Sebaran SO₂ pada Musim Wabah Covid-19 Menggunakan Satelit Aura di Wilayah Jabodetabek. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2022;7(2):113–28.
 19. Dede M, Widiawaty MA, Nurhanifah N, Ismail A, Artati ARP, Ati A, et al. Estimasi Perubahan

- Kualitas Udara Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh Di Sekitar PLTU Cirebon. *Jambura Geoscience Review*. 2020;2(2):78–87.
20. Hadi BS. Pemantauan Kualitas Udara Ambien PM10, dan Risiko Kesehatan Terhadap Masyarakat di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. 2021;105.
 21. Fadhli M, Asriyadi, Salamah I, Lindawati. Sosialisasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Komunikasi Multi-Hop di BMKG Stasiun Klimatologi Kelas I Palembang. *JONG-KI: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 2023;2(1):158–63.
 22. Nakulo B, Sari ID, Hariyadi D. Pemantauan Sistem Kualitas Udara Menggunakan Openhab. *Indonesian Journal of Business Intelligence (IJUBI)*. 2020;3(1):14.
 23. Gu Q, Michanowicz DR, Jia C. Developing a modular unmanned aerial vehicle (UAV) platform for air pollution profiling. *Sensors (Switzerland)*. 2018;18(12):1–14.
 24. Lambey V, Prasad AD. A Review on Air Quality Measurement Using an Unmanned Aerial Vehicle. Water, Air, and Soil Pollution [Internet]. 2021;232(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04973-5>
 25. Purwaningsih S, Pebralia J, Rustan R. Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno Untuk Limbah Masker. *Jurnal Kumparan Fisika*. 2022;5(1):1–6.
 26. Amri I, Pebralia J. A SIMPLE OF IOT BASED SOCIAL CONTACT TRACKING FOR INFECTIOUS PATIENT USING ULTRASONIC SENSOR: A PRELIMINARY STUDY. 2022;7(2):19–23.
 27. Heriyanti H, Samsidar S, Amri I, Pebralia J, Rustan R, Handayani L, et al. Study Awal Karakterisasi Sensor Warna Tc3200 Untuk Menentukan Kadar Kafein Pada Kopi. *Journal Online of Physics*. 2021;7(1):52–7.
 28. Rustan R, Pebralia J, Restianingsih T, Deswardani F, Peslinof M, Nurhidayah N, et al. Aplikasi Sensor Kelembaban Dan Flex Sensor Berbasis Arduino Uno Untuk Sistem Pendeteksi Longsor. *Journal Online of Physics*. 2021;7(1):42–6.
 29. Putu YNN, Pebralia J, Yunita. Studi Penerapan Sensor MLX90614 Sebagai Pengukur Suhu Tinggi secara Non-kontak Berbasis Arduino dan Labview. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*. 2015;89–92.
 30. Handayani L, Pebralia J, Amri I, Puji Lestari A. Pengembangan Alat Ukur Kematangan Kompos Berbasis Arduino Atmega328. *Journal Online of Physics*. 2023;8(2):96–102.
 31. Kafiar EZ, Allo EK, Mamahit DJ. Rancang Bangun Penyiram Tanaman Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor Kelembaban YL-39 dan YL-69. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. 2018;7(3).
 32. Wilani L, Peslinof M, Pebralia J. Rancang Bangun Sistem Monitoring Kebisingan pada Ruangan dengan Sensor Suara GY-MAX4466 Berbasis Internet of Things (IoT). *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*. 2023;7(3):319.
 33. Pebralia J, Rustan, Bintana RR, Amri I. Komunikasi Fisika Indonesia SISTEM MONITORING KEBAKARAN HUTAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT). 2022;19(3):183–9.