

Perangkat *Portable* Pemantau Polusi Menggunakan Sensor PM, CO, dan O₃ Berbasis

Syaidatul Fauziah, Reza Fuad Rachmadi, dan Arief Kurniawan
Departemen Teknik Komputer, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: fuad@te.its.ac.id

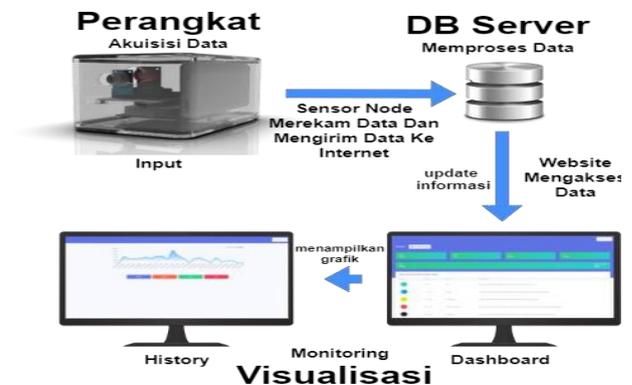
Abstrak—Dewasa ini udara di muka bumi semakin memburuk dan terkadang melewati batas normal, sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan kampus yang berinisiatif menjadi pionir dalam pengembangan *Smart ECO Campus* dan memanfaatkan setiap elemen kampus untuk menciptakan pembangunan yang ramah lingkungan. Namun saat ini untuk lingkungan kampus masih belum ada sebuah perangkat *portable* pemantau polusi sehingga para sivitas akademika tidak dapat mengetahui kondisi udara sekitar kampus. Tugas Akhir ini bertujuan untuk membuat perangkat *portable* pemantau polusi berbasis IoT. Perangkat ini menggunakan sensor PM, CO dan O₃ yang mana data kadar kualitas udara yang di baca oleh sensor dikirimkan ke database server. Seluruh data pada server divisualisasikan menggunakan *website*. Setelah dilakukan validasi perangkat sesuai dengan hasil pengujian didapatkan error rata-rata untuk PM_{2.5} adalah 8,78 μ /m³, error rata-rata untuk PM₁₀ adalah 10,35 μ /m³, dan error rata-rata untuk O₃ adalah 18,8396ppm sehingga perangkat tergolong layak untuk digunakan. Dengan adanya perangkat ini sivitas akademika dapat dengan mudah memantau polusi udara di sekitar secara *real time* melalui *website* sehingga dapat melakukan tindakan pencegahan yang tepat.

Kata Kunci—Polusi, *Portable*, IoT, *Website*.

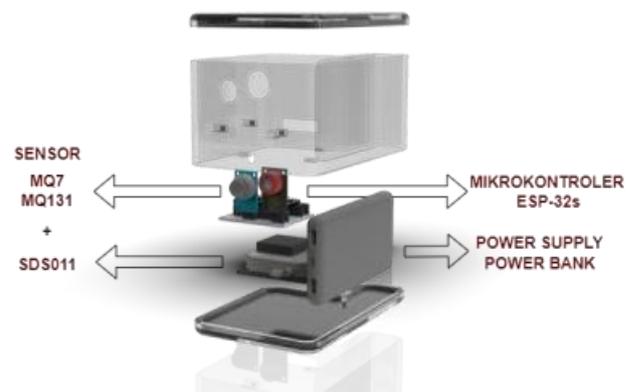
I. PENDAHULUAN

DEWASA ini udara di muka bumi semakin memburuk dan terkadang melewati batas normal, sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia. World Health Organization (WHO) menyebut polusi udara sebagai masalah lingkungan utama yang menimbulkan risiko bagi kesehatan. Setidaknya setiap tahun polusi udara menyebabkan 7 juta kematian yang membuat terjadinya gangguan pernapasan. Kematian yang ditimbulkan oleh polusi udara tersebut tiga kali lipat lebih besar dibandingkan dengan kematian yang ditimbulkan oleh malaria, tuberkulosis, dan AIDS. Polusi udara menyebabkan 26% kematian akibat penyakit jantung akibat tersumbatnya pembuluh darah dan 24% kematian akibat stroke. Selain itu, polusi udara juga menyebabkan 43% penyakit paru obstruktif kronik dan 29% kanker paru-paru. Kasus kematian terbanyak akibat polusi udara ada di kawasan Asia Tenggara, yakni mencapai lebih dari 2 juta kematian per tahun.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan kampus yang berinisiatif menjadi pionir dalam pengembangan *Smart ECO Campus* dan memanfaatkan setiap elemen kampus untuk menciptakan pembangunan yang ramah lingkungan [1]. Menurut *UI Green Metric* yang memberikan hasil survei online mengenai kondisi terkini dan kebijakan terkait *Green Campus* dan *Sustainability* di universitas-universitas di seluruh dunia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) menduduki posisi ke-223 di dunia dengan penataan kampus dan informasi infrastruktur yang



Gambar 1. Gambaran umum sistem.

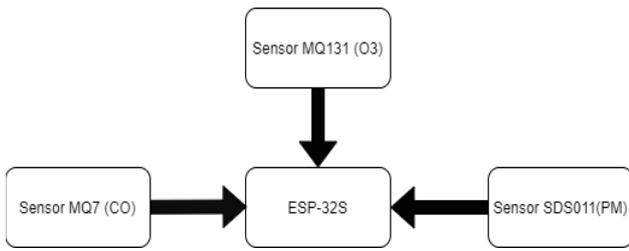


Gambar 2. Bagian-bagian perangkat.

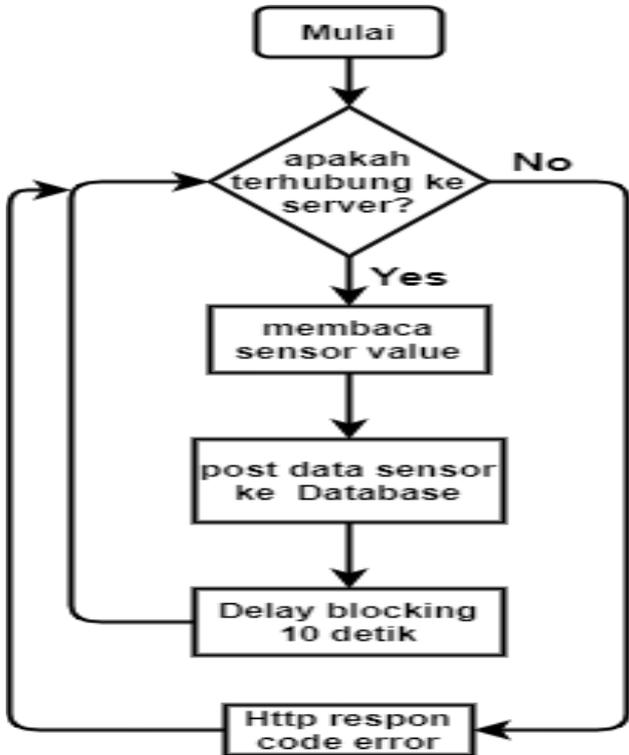
menjadi dasar pertimbangan terhadap lingkungan hijau universitas. ITS juga menduduki posisi ke-162 di dunia dengan kebijakan transportasi yang membatasi jumlah kendaraan bermotor di kampus, karena sistem transportasi memegang peranan penting dalam tingkat emisi karbon dan pencemaran di lingkungan kampus [2].

Menurut lampiran I PermenLH Nomor 12 tahun 2010 tentang pedoman teknis penetapan mutu udara ambien daerah, sumber pencemaran udara dapat berasal dari kegiatan alami (letusan gunung berapi, dekomposisi biotic, debu, spora tumbuhan) dan kegiatan antropogenik (kegiatan manusia). Dalam penelitian mengenai kualitas udara terdapat suatu istilah yang dinamakan Baku Mutu Udara Ambien (BMUA). BMUA merupakan ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien [3]. Adapun parameter yang terdapat pada BMUA meliputi Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon (O₃), Karbon Monoksida (CO), *Particulate Matter* (PM), Timah hitam (Pb), TSP, dan HC (dalam bentuk NMHC) [4].

Berdasarkan paparan di atas, terdapat hubungan antara polutan udara dengan kesehatan manusia, maka penting untuk mengukur konsentrasi polutan yang ada di udara.



Gambar 3. Bagian-bagian perangkat.



Gambar 4. Diagram alir program ESP-32S.

Untuk mengetahui kadar zat-zat tersebut di udara, dibutuhkan perangkat untuk memantau kualitas udara dan menampilkannya. Oleh karena itu, Penelitian ini akan membuat perangkat portable pemantau polusi menggunakan sensor PM, CO, dan O3 berbasis *Internet of Things* (IoT). Data yang didapat dari sensor akan dikirimkan ke database dan divisualisasikan melalui *website* sehingga pengguna dapat memantau kadar kualitas udara.

II. DESAIN DAN IMPLEMENTASI

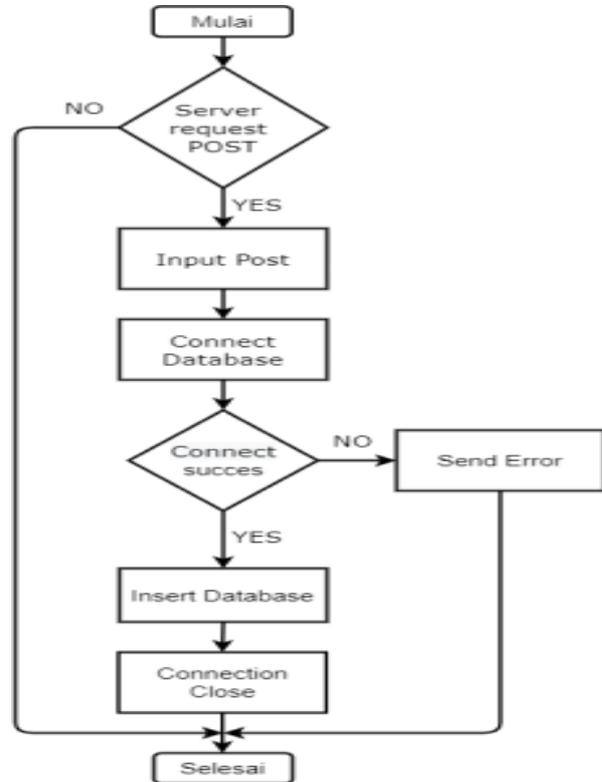
A. Alat Pemantau Kualitas Udara

Perangkat dikemas menggunakan sebuah box yang berisikan tiga jenis sensor, mikrokontroler, dan sumber daya. Sensor yang digunakan yaitu SDS011 berfungsi mendeteksi kadar Partikulat Meter (debu, kotoran asap, dan cairan yang ditemukan di udara dengan ukuran kecil), MQ7 berfungsi mendeteksi kadar karbon Monoksida, dan MQ131 berfungsi mendeteksi kadar Ozon.

Sedangkan mikrokontroler yang digunakan adalah ESP-32S yang mana juga berfungsi sebagai modul WiFi sehingga perangkat dapat terhubung ke internet dan dapat mengirimkan data hasil rekaman sensor menuju database. gambaran umum sistem dapat dilihat pada Gambar 1 dan desain perangkat dapat yang berbentuk box dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 5. Desain database.



Gambar 6. Diagram alir program PHP.

1) Akuisisi Data

Pada Gambar 3 tertera alur blok diagram dari perangkat. Sensor yang digunakan SDS011, MQ7, dan MQ131 yang bertugas untuk merekam data kadar PM, CO, dan O3 serta ESP-32S yang merupakan mikrokontroler yang bertugas untuk mengakuisisi data dan mengirimkan data ke server. Alur kerja dari blok diagram alat pada Gambar 3 sebagai berikut: (1) Aktivasi ESP-32S dengan menyambungkan ke WiFi terdekat yang berfungsi sebagai modul yang mengolah dan mengirim. (2) Perekaman data analog oleh sensor MQ7 dan MQ131 serta perekaman data serial oleh sensor SDS011 yang akan dibaca di baca oleh ES-P32S. (3) ESP-32S melakukan pembacaan data analog dari sensor MQ7 dan MQ131 lalu diubah menjadi voltase agar bisa mendapatkan nilai kadar dengan satuan *parts per million* (PPM) serta pembacaan data serial dari sensor SDS011 dengan nilai satuan kadar $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2) Pengiriman Data oleh Perangkat

Perekaman data dari perangkat menggunakan bahasa C. Setelah data tersebut direkam, data akan dikirim ke database server menggunakan modul WiFi ESP-32S. Diagram alir program ESP-32S dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan diagram alir pada Gambar 4, alur kerja program ESP-32S dimulai dengan aktivasi ESP-32S sebagai modul yang bertugas untuk mengirimkan data kadar kualitas udara dari perangkat. Ketika ESP-32S sudah tersambung ke WiFi, ESP-32S akan aktif dan langsung merekam data kadar kualitas

Tabel 1.
Parameter level kadar kualitas udara

Warna	Kadar	Status
Hijau	0 – 50	Baik
Biru	51 – 100	Sedang
Kuning	101 – 199	Tidak Sehat
Merah	200 – 299	Sangat Tidak Sehat
Hitam	≥300	Berbahaya



Gambar 7. Diagram alir website.

udara dari perangkat. Setelah *value* kadar didapatkan data langsung dikirimkan ke database server. Database akan menyimpan data kadar kualitas udara dari perangkat secara realtime, lalu program diberi *delay* selama 10 detik, ini berguna untuk manajemen data yang masuk ke database. Jika ESP-32S gagal tersambung ke WiFi, Http akan memberi respon error dan mengecek lagi koneksi ke Internet. Program ini akan terus berjalan (*looping*) hingga perangkat mati.

B. Database Server

Pada penelitian ini Database Server digunakan sebagai tempat penyimpanan seluruh data kadar sensor SDS011, MQ7, dan MQ131 yang nantinya akan di akses oleh *Website* sebagai monitoring. Desain database yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5. Proses penyimpanan data dari perangkat menggunakan bahasa pemrograman PHP. Proses dimulai dengan server *me-request* data yang di post dari Arduino IDE, jika berhasil Input data post berupa data kadar PM, CO, O3, dan waktu data diterima. Lalu koneksikan pada database, Jika koneksi gagal akan terkirim pesan berupa error, dan Jika koneksi berhasil insert nilai kadar ke database dan dikelompokkan sesuai field yang sudah ditentukan. Diagram alir penyimpanan data pada database dapat dilihat pada Gambar 6.

C. Visualisasi Data

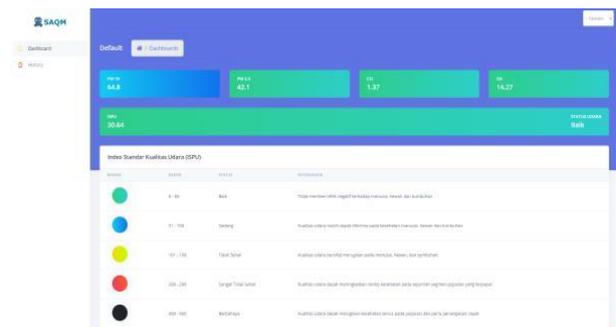
Visualisasi Data akan ditampilkan melalui *website* SAQM, dimana data yang ditampilkan adalah data yang telah dikirimkan oleh perangkat ke database. Terdapat dua fitur



Gambar 8. Tampilan *box*.



Gambar 9. Tampilan *dashboard*.



Gambar 10. Tampilan pada *history*.

utama yang tersedia pada *website* ini, yaitu *dashboard* dan *history*.

Pada fitur *dashboard* pengguna dapat melihat kadar PM2.5, PM10, CO, dan O3 secara real-time dan mengetahui status kadar udara tersebut melalui indikator warna pada *box*, sesuai parameter yang terdapat pada Tabel 1. Sedangkan pada fitur *history* pengguna dapat melihat riwayat kadar kualitas udara dalam bentuk visualisasi grafik. Visualisasi data berupa *website*. *Website* dibangun menggunakan program HTML, CSS, PHP, dan JavaScript dengan *framework codeigniter* yang digunakan untuk memprogram *front-end* serta *back-end*. Diagram alir *website* dapat dilihat pada Gambar 7.

III. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Implementasi Desain

Desain alat yang sudah dirancang sebelumnya kemudian diimplementasikan dengan menggunakan Teknik 3D Printing hingga dihasilkan *Box* Perangkat seperti pada Gambar 8. Kemudian desain *website* diterapkan menggunakan *Bootstrap 4.0 template* yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 11. Hasil pengujian kadar (a) PM2.5 perangkat (b) PM2.5 perangkat pemerintah (c) PM10 perangkat (d) PM10 perangkat pemerintah (e) O3 perangkat (f) O3 perangkat pemerintah (g) CO perangkat.

B. Pengujian Validasi Alat

Pengujian untuk validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengambilan nilai kadar pada perangkat yang dibuat dengan Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) Surabaya yang berlokasi di Tandes. Pengambilan data nilai kadar sensor di lakukan setiap 10 detik selama 1 jam. Lalu data di rata-ratakan sehingga mendapatkan 1 nilai Total selama satu jam.

1) Pengujian Awal

Pengujian pertama dilakukan pada tanggal 7 Juni 2021 selama 1 jam (16.00 s.d. 17.00) dengan kondisi perangkat belum dipanaskan. Pengambilan data dilakukan setiap 10 detik, sehingga pengujian ini menghasilkan 360 data. Saat melakukan pengambilan data kualitas udara, tingkat *humidity* Kota Surabaya adalah 61%. Untuk validasi, data kadar rata-rata PM2.5, PM10, O3, dan CO yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan data yang tertera pada alat ukur. kualitas udara milik pemerintah yang berada di lokasi sama dalam waktu yang sama, dengan hasil dapat dilihat pada Gambar 11.

Dari perbandingan pada Gambar 11, tercatat selisih error rata-rata data PM2.5 sebesar 9,5µg/m3, error rata-rata PM10 sebesar 25,8µg/m3, dan error rata-rata O3 sebesar 18,8396ppm. Untuk CO tidak dapat dibandingkan karena alat ukur kualitas udara milik pemerintah tidak mengambil data kadar CO.

Melalui pengujian pertama, dapat disimpulkan bahwa perangkat portable pemantau polusi yang dibuat pada

penelitian ini memiliki error yang cukup besar, hal ini terjadi karena kondisi perangkat belum dipanaskan.

2) Pengujian Kedua

Pengujian kedua dilakukan pada tanggal 29 juni 2021 selama 3 jam 15 menit (15.25 s.d. 18.40) dengan kondisi perangkat sudah dipanaskan selama 1 jam. Pengambilan data dilakukan setiap 10 detik, sehingga pengujian ini menghasilkan 360 data setiap jamnya. Saat melakukan pengambilan data kualitas udara, tingkat *humidity* Kota Surabaya adalah 69%. Hasil validasi data rata-rata kadar PM2.5, PM10, O3, dan CO yang didapatkan dari pengujian tertera pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Adapun data pada pukul 15.00 dan 18.00 tidak ikut dimasukkan karena adanya perbedaan jumlah data yang diproses oleh sistem akibat durasi pengujian yang tidak mencapai interval satu jam pada waktu tersebut, sehingga data yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang jauh lebih rendah. Berikut hasil validasi data rata-rata kadar PM2.5, PM10, O3, dan CO yang didapatkan dari hasil pengujian pada Gambar 12.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa error rata-rata PM2.5 pada jam 16:00 adalah 11,56µg/m3 dan error rata-rata pada Pm2.5 pada jam 17:00 adalah 6µg/m3. Dapat disimpulkan untuk error PM2.5 berkisaran 8,78µg/m3. Hasil representasi tabel diperlihatkan pada Gambar 13.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa error rata-rata PM10 pada jam 16:00 adalah 5,8µg/m3 dan error rata-rata pada Pm10 pada jam 17:00 adalah 14,9µg/m3. Dapat disimpulkan untuk



Gambar 12. Perbandingan kadar PM2.5 perangkat penelitian dengan perangkat pemerintah.

Tabel 2.
Rata-rata hasil pengujian PM2.5

Jam	Perangkat yang Dibangun	Perangkat pemerintah
16:00	21.44	33
17:00	27.60	33.6

Tabel 3.
Rata-rata hasil pengujian PM10

Jam	Perangkat yang Dibangun	Perangkat pemerintah
16:00	34.40	28.6
17:00	44.10	29.2

Tabel 4.
Rata-rata hasil pengujian O3

Jam	Perangkat yang Dibangun	Perangkat pemerintah
16:00	10.08	-
17:00	12.89	-

Tabel 5.
Rata-Rata Hasil Pengujian CO

Jam	Perangkat yang Dibangun	Perangkat pemerintah
16:00	1.75	-
17:00	1.37	-

error PM 10 berkisaran 10,35µg/m3.

Dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 14 data kadar O3 tidak dapat di validasi, karena perangkat pemerintah tidak mendeteksi kadar O3 pada tanggal 29 juni 2021.

Pada Tabel 5 dan Gambar 15 dapat dilihat data kadar CO yang di dapat saat pengujian tidak bisa di validasi. Ini dikarenakan perangkat pemerintah tidak mendeteksi jenis kadar Karbon Monoksida (CO). Melalui pengujian kedua dapat disimpulkan bahwa masih terdapat error pada sensor SDS011 dalam mendeteksi kadar PM sebesar ±10µg/m3. Namun kondisi ini dapat diterima karena sensor SDS011 memiliki *relative error* maksimum ±15% dan ±10µg/m3 dengan suhu 25°C serta *relative humidity* (RH) 50%. Dengan



Gambar 13. Perbandingan kadar PM10 perangkat penelitian dengan perangkat pemerintah.



Gambar 14. Hasil pengujian kadar O3.



Gambar 15. Hasil pengujian kadar CO.



Gambar 16. Hasil pengujian ketahanan baterai.

demikian, perangkat penelitian yang dikembangkan dapat dikatakan sudah layak untuk diuji coba langsung di lapangan tanpa pembandingan.

C. Pengujian Ekspektasi Ketahanan Baterai

Pada pengujian ini dilakukan pengecekan besar arus yang

diambil oleh perangkat yang dibuat dengan menggunakan Avometer. Baterai yang digunakan pada perangkat memiliki kapasitas sebesar 10.000 mAh. Perangkat memiliki arus sebesar 0,39 Ampere dan tegangan sebesar 5 Volt. Untuk mendapatkan besar daya yang digunakan oleh perangkat dapat menggunakan persamaan 1, untuk mendapatkan estimasi waktu dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \times I$$

$$\text{Estimasi Waktu} = \frac{C}{I}$$

P = Daya

I = Arus = 0,39A = 390mA

V = Tegangan = 5V

C = Kapasitas Baterai = 10.000mAh

Dapat dilihat dari perhitungan tersebut daya yang didapat yaitu sebesar 1,95watt serta ekspektasi ketahanan baterai pada perangkat jika dinyalakan terus menerus didapatkan yaitu selama lebih dari 25 jam.

Namun ketika dilakukan pengujian langsung di lapangan ketahanan baterai pada perangkat adalah 21 jam, dengan melihat data kadar yang dikirim oleh perangkat pada grafik yang ada di *website*. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya faktor konversi tegangan yang membuat daya dari baterai terbuang selama proses pengecasan. Adapun pengujian dilakukan pada tanggal 2 Agustus 2021 mulai pukul 03.00 dan berhenti pada pukul 23.00. Sebagai gambaran, Hasil pengujian terhadap kadar PM10 selama 21 jam dapat dilihat pada Gambar 16.

IV. KESIMPULAN

Berebrapa kesimpulan dari hasil penelitian diantaranya: (1) Sudah diimplementasikan perangkat portabale memantau polusi menggunakan sensor PM, CO, dan O3 berbasis IoT, serta dapat mengukur kadar masing- masing parameter yang digunakan secara realtime. (2) Validasi perangkat sesuai dengan hasil pengujian didapatkan error rata-rata untuk PM2.5 adalah 8,78 μ g/m³, error rata-rata untuk PM10 adalah 10,35 μ g/m³, dan error rata-rata untuk O3 adalah 18,8396ppm jika dibandingkan dengan perangkat pemerintah Surabaya. (3) Validasi ketahanan baterai jika perangkat dinyalakan terus menerus sesuai hasil pengujian adalah selama 21 jam. (4) Visualisasi data pada website sudah dapat menampilkan kadar serta status kualitas udara pada lingkungan tempat dimana perangkat dipasangkan sesuai dengan parameter warna (hijau, biru, kuning, merah, dan hitam) yang telah di tentukan. Visualisasi juga sudah dapat menampilkan histori pengambilan data kadar di setiap jamnya dalam bentuk grafik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ITS, "ITS Smart Eco Campus," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2011. <https://www.its.ac.id/smartecocampus/eco-campus/>.
- [2] Universitas Indonesia, "Overall Rankings 2020," *UI Green Metric*, Depok, 2020. <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2020>.
- [3] Menteri Negara Lingkungan Hidup, "Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah Menteri Negara Lingkungan Hidup." Menteri Lingkungan Hidup, Jakarta, p. 199, 2010.
- [4] A. Erou and F. Fadhilah, *Inventarisasi dan Status Mutu Udara Ambien*, Revisi. Jakarta: Indonesian Center for Environmental Law, 2019.