

# PEMANTAUAN POLUSI UDARA DENGAN SENSOR

## DI SUROBOYO BUS

Adellia Puspita Ratri, Verina Elista Malik, Nadia Dinda Pratama, Isa Hafidz

Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro,

Institut Teknologi Telkom Surabaya

**Abstrak**--Makalah ini menyajikan studi eksperimental pemantauan polusi udara real-time menggunakan sensor nirkabel di depan umum kendaraan transportasi bus. Studi ini untuk mendukung proyek sparkling Surabaya, yang memanfaatkan Internet-of-Things untuk lingkungan hijau dengan mengukur tingkat polusi udara di pusat kota. Melalui penggelaran sensor nirkabel berbiaya rendah, itu mungkin untuk mendapatkan data polusi udara di kota Surabaya dengan lokasi yang berbeda. Sensor terletak di depan umum bis menggunakan sensor stasioner dan satu stasiun pemantauan di permukaan tanah. Makalah ini menjelaskan penyebaran sensor nirkabel pada bus dan integrasi jaringan sensor seluler dengan testl *GreenIoT*.

**Kata Kunci** : bahan bakar, polusi, udara

**Sub Tema**: Optimalisasi teknologi dan manajemen dibidang transportasi

## I. PENDAHULUAN

### 1. Latar belakang

Surabaya merupakan Ibu Kota Jawa Timur. Surabaya juga merupakan kota terbesar dan terpadat kedua setelah Jakarta. Dengan padatnya penduduk yang juga mengakibatkan padatnya jalan besar untuk mobilitas masyarakat, banyak pepohonan di jalan besar dihilangkan untuk pelebaran jalan. Padahal, jika dipahami lebih dalam pohon-pohon ini sangat berfungsi untuk pergantian gas oksigen pada siang hari dan jalan lebih terlihat teduh. Tetapi, kelancaran mobilitas masyarakat menjadi nomor satu sehingga ditebangnya pohon-pohon disekitar jalan dan jalan terlihat gersang dan sangat berdebu. Hal ini mengakibatkan kualitas udara yang dihasilkan menurun bahkan dapat dikatakan buruk.

Penyebab utama untuk kualitas udara yang buruk adalah knalpot kendaraan dan situs industri yang terletak dekat dengan daerah perkotaan. Banyak kota telah dikerahkan sejumlah kecil stasiun pemantauan mahal untuk memantau kualitas udara. Namun, penyebaran infrastruktur kota cukup menguras banyak waktu dan uang. Karena biaya tinggi, sering ada hanya beberapa sejumlah stasiun untuk menyediakan cakupan yang terbatas di kota. Baru-baru ini, proyek penelitian telah dilakukan untuk menyelidiki sensor murah sehingga mereka dapat digunakan lebih luas di kota.

Seiring dengan program pemerintah Kota Surabaya yang bertujuan untuk menghijaukan Surabaya atau yang biasa disebut *sparkling Surabaya*, untuk membantu program tersebut alat berbasis IoT ini dibuat dan dipasang di Suroboyo Bus agar data yang didapatkan real time dan juga didapat dari berbagai wilayah di daerah Surabaya, hal ini dapat memudahkan pemerintah memantau daerah-daerah Surabaya yang masih memiliki tingkat polutan udara yang tinggi sehingga dapat dilakukan perbaikan lebih lanjut sesuai dengan program yang dibuat.

*Internet-of-Things* (IOT) adalah jaringan perangkat yang dapat mengumpulkan dan pertukaran data. Perangkat yang terhubung mungkin telah tertanam elektronik, sensor dan konektivitas jaringan yang memungkinkan perangkat ini untuk terhubung dan berkolaborasi dengan perangkat IOT lainnya [1]. IOT telah digunakan di mobil dan infrastruktur kota, seperti pencahayaan cerdas, air, listrik, pendinginan dan sistem alarm [2-5].

Pemantauan kualitas udara adalah subjek bagi banyak proyek-proyek penelitian dan inisiatif berbasis masyarakat. kualitas udara telah menjadi perhatian utama bagi banyak kota di seluruh dunia. Kualitas udara yang buruk di daerah perkotaan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan bagi orang-orang yang terkena itu dalam kehidupan sehari-hari mereka [6].

## 2. Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan masalah-masalah yang akan dibahas dalam karya tulis ini : a.) Bagaimana cara memantau polusi udara dengan sensor Suroboyo Bus ?

b.) Bagaimana hasil dari kerja sistem tersebut ?

## 3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan pertama dari pekerjaan ini adalah untuk mengidentifikasi satu set rute Bus yang dapat memberikan cakupan yang baik dari kota dan melewati daerah yang sangat tercemar yang memerlukan perhatian. Route perencanaan dipelajari dalam pekerjaan ini untuk memilih rute Bus yang dapat memperoleh pengukuran dari lokasi penting. Hal ini dilakukan melalui analisis gambar pada peta rute bus yang disediakan oleh perusahaan bus lokal, *Upplands Lokaltrafik* (UL). Tujuan kedua adalah untuk menyebarkan sensor pada kendaraan umum dan mengevaluasi kemampuan sensor bergerak dibandingkan dengan yang dari sensor stasioner. Program sensor yang dikembangkan harus handal dan stabil karena dioperasikan dalam jangka waktu yang lama. Tujuan akhir dari pekerjaan ini adalah untuk mengevaluasi kualitas yang ada di Surabaya dengan menggunakan sensor yang terpasang di Surabaya Bus.

## 4. Hipotesis

Sejumlah proyek penelitian telah dilakukan untuk mengukur kualitas udara menggunakan IOT atau jaringan sensor nirkabel [8,9]. Proyek-proyek ini meliputi pengukuran dari berbagai jenis polutan di udara menggunakan sensor stasioner atau mobile. Misalnya, Universitas Patras mengevaluasi konsumsi daya dari platform Waspmote pada tahun 2015 [10]. Platform *Waspmote* dikembangkan oleh sebuah perusahaan bernama Libelium, yang menyediakan berbagai jenis sensor, teknologi radio, open source *Software Development Kit* SDK dan *Application Programming Interface* API untuk pengembangan jaringan sensor.

## 5. Rancangan Penelitian

Makalah ini difokuskan pada identifikasi operasi kritis dan menerapkan setup untuk pengukuran konsumsi daya dalam jaringan sensor nirkabel. Demikian pula, Universitas Angkatan Bersenjata mengembangkan sistem pemantauan nirkabel untuk pengukuran kualitas udara [11]. Penelitian ini juga mencoba untuk memberikan sistem dengan perangkat keras, perangkat lunak dan solusi firmware untuk mengukur kualitas udara. Sistem ini dikembangkan pada platform Arduino menggunakan gateway jaringan untuk menghubungkan node sensor ke Internet. Ini diukur karbon monoksida (CO)

dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) konsentrasi di kota Quito, Ekuador. Selain jaringan sensor stasioner, sensor ponsel juga telah diselidiki untuk pemantauan dukungan polusi udara.

## 6. Tinjauan Pustaka

Dalam suatu penelitian diperlukan suatu dukungan dari hasil hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya. Dari penerapan suatu alat sensor di Suroboyo Bus banyak manfaatnya di negara Indonesia khususnya dibidang transportasi karena Negara Indonesia merupakan salah satu penghasil polusi terbesar.

Dari proyek OpenSense yang dilakukan di Zurich, Swiss [12]. Dalam proyek OpenSense, trem digunakan sebagai platform bergerak untuk membawa sensor. Komunikasi antara sensor dan *Cloud* itu dilakukan dengan menggunakan *General Packet Radio Services* (GPRS). Dalam tulisan ini, kita mempertimbangkan sensor penggelaran di bus, yang menyediakan cakupan yang lebih luas di kota dan lebih banyak pilihan dan fleksibilitas dalam pemilihan rute bus. Bus kota juga memiliki infrastruktur yang berbeda instalasi, kecepatan dinamis lebih, dan berhenti dan pola bergerak.

Proyek lain di mana kualitas udara dipantau dengan rover roda otonom dilakukan pada tahun 2016 oleh Sapienza University of Rome [13]. Sensor diukur metana (CH<sub>4</sub>), etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), amonia (NH<sub>3</sub>), benzena (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), LPG (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), CO<sub>2</sub>, CO dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>). *Rover* ini dikembangkan oleh Sapienza University dengan sensor GPS, gyros tiga sumbu, accelerometers dan magnetometer, sehingga mampu menavigasi dan menghindari rintangan di jalan untuk memindai status polusi di wilayah yang luas.

Dengan demikian kami berinovasi membuat suatu sensor yang dipasang dibadan bagian depan Bus yang dapat membantu pemerintah dalam memantau polusi khususnya di Kota Surabaya ini agar dapat di tanggulangi masalah yang ada.

## II. METODE

### 1.) Lokasi dan waktu penelitian

#### a.) Lokasi penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian adalah di Kota Surabaya tepatnya di jalan – jalan besar yang setiap hari nya dilewati oleh rute Bus Suroboyo.

#### b.) Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada saat jam operasional Bus dari jam 6 pagi hingga jam 10 malam.

## 2.) Sifat penelitian

### a.) Tujuan Penelitian

Pembuatan sensor pemantau udara yang di pasang di Bus Suroboyo untuk mengetahui tingkat emisi yang di hasilkan oleh Bus Suroboyo di berbagai daerah Kota Surabaya agar dapat melakukan perbaikan ramah lingkungan.

### b.) Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif, yaitu penelitian yang bersifat deskriptif dan cenderung menggunakan analisis. Landasan teori dimanfaatkan sebagai pemandu agar fokus penelitian sesuai dengan fakta di lapangan. Selain itu landasan teori ini juga bermanfaat untuk memberikan gambaran umum tentang latar penelitian dan sebagai bahan pembahasan hasil penelitian.

### c.) Besaran sumber data yang dijadikan subjek penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitiannya adalah polusi udara di jalan besar Kota Surabaya.

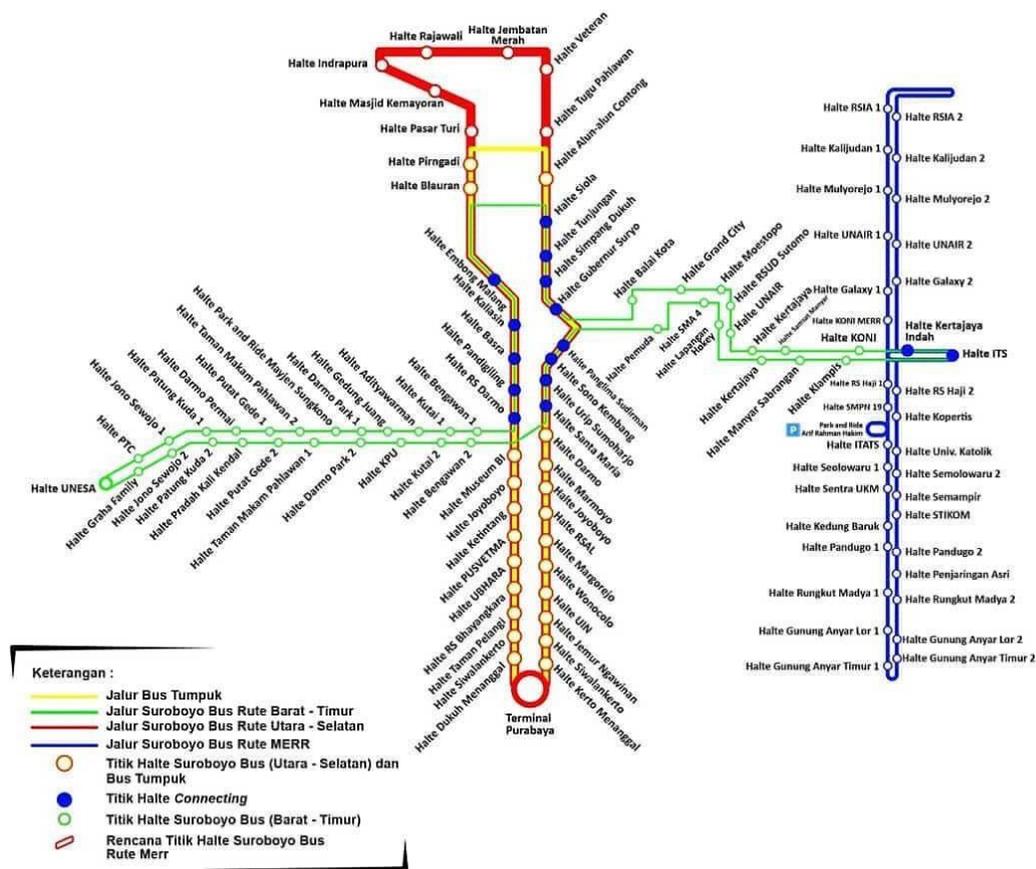
## 3.) Teknik Pengumpulan data

Dalam pengumpulan data, kami menggunakan metode observasi dalam pembuatan karya tulis ilmiah ini dalam rangka untuk memilih rute Bus yang optimal untuk penyebaran sensor, algoritma analisis citra digunakan untuk mengidentifikasi rute yang menutupi area terluas di kota. Data dari sensor kemudian dilaporkan ke *GreenIoT* melalui jaringan selular melalui antarmuka HTTP. Analisis data dilakukan berdasarkan berbagai teknik untuk mengolah data, yang dilaksanakan oleh script *Python*. Visualisasi dari data sensor diimplementasikan melalui pemrograman web di *Google Maps* untuk menunjukkan lokasi dan informasi dari pengukuran.



Gambar 2.1 Bus Suroboyo

Ketika menghitung jangkauan rute di wilayah kota, rute bis yang tersebar di Surabaya dianggap sebagai sepenuhnya mewakili dan menjelaskan keadaan udara kota. Matlab algoritma meliputi beberapa parameter penting. Yang pertama digunakan untuk mengatur jumlah rute yang bisa dipilih. Yang kedua adalah opsional dan untuk tanam area yang lebih kecil dari gambar peta di mana perhitungan dilakukan pada. Yang ketiga adalah opsional dan dapat digunakan untuk area set bahwa rute harus melewati, memaksa semua rute melewati daerah-daerah wajib. Gambar 2.1 merupakan gambar Bus Suroboyo yang akan menjadi tempat implementasi sensor. Gambar 2.2 merupakan representasi dari rute Surabaya Bus yang tersebar di wilayah Kota Surabaya, dan dijadikan acuan lokasi pengambilan data oleh sensor.



Gambar 2.2 Rute Perjalanan Suroboyo Bus Sebagai Lokasi Sampel Pengambilan Data

#### 4.) Metode Analisis Data

Dalam analisis data penelitian kualitatif diperlukan beberapa tahapan, yakni :

- a) Koleksi data adalah kegiatan pengumpulan data pada titik lokasi yang dilalui Surabaya Bus
- b) Seleksi data merupakan aktivitas pemilihan data agar dapat diolah
- c) Penyajian data yaitu kegiatan penjelasan ilmiah dan analisis yang dilakukan oleh peneliti

- dengan tidak menutupi kekurangan
- d) Penarikan kesimpulan dengan melihat kembali pada pengurangan data dan penyajian data

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

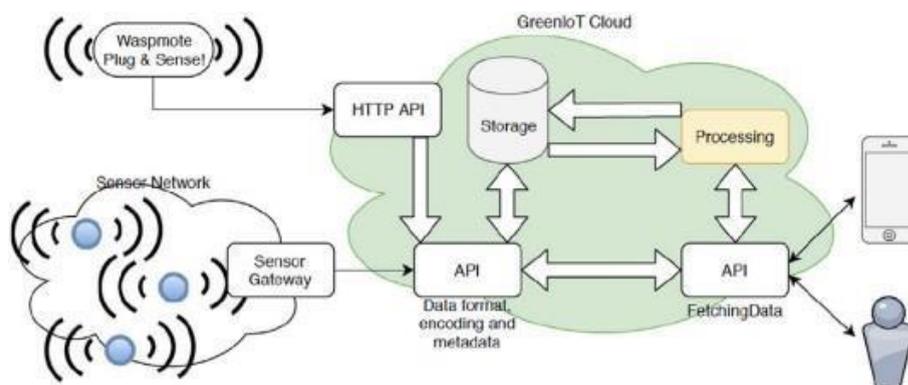
Kegiatan pengukuran akan dikirimkan via jaringan seluler 4G dengan API HTTP di *GreenIoT Cloud*. HTTP API kemudian mem-parsing nilai-nilai dari permintaan POST dan merakit sebuah objek JSON yang dikirim ke MQTT Broker. The MQTT Broker menciptakan topik untuk MQTT langganan data dan menambahkan data baru ke database Mongo. Dalam rangka untuk mendapatkan konektivitas jaringan mobile 4G, sensor membutuhkan SIM-card. *Telia Sverige AB* terpilih sebagai penyedia layanan dan SIMcard dengan 4G berlangganan diakuisisi dari salah satu mitra proyek. HTTP API diciptakan dengan PHP sehingga dapat dengan mudah memproses permintaan POST masuk dengan pengukuran dalam muatannya. The *GreenIoT Database* adalah database NoSQL disebut MongoDB di mana data disimpan sebagai JSON objek. JSON objek disimpan mengikuti format data yang telah disepakati, yang disebut *Sensor Markup Language* (SenML).

Gambar 3.1 menunjukkan desain arsitektur *GreenIoT Testbed* [7]. sensor stasioner yang terhubung ke gateway sensor melalui protokol jaringan konsumsi energi yang rendah disebut IPv6 Jaringan *Low-Power Wireless Personal Area* (6LoWPAN) lebih. Relay sensor gerbang sensor data ke *GreenIoT Cloud* di *Markup Language* (SenML) Format Sensor melalui koneksi WiFi. Di *Cloud*, data disimpan dalam NoSQL (tidak hanya *Structured Query Language*) system database dan dipublikasikan ke MQTT (pesan antrian Telemetry Transportasi). Data disimpan dalam MongoDB (MongoDB adalah cross-platform berorientasi dokumen program database) koleksi dengan menggunakan format SenML yang berjenis JSON (*JavaScript Object Notation*) [14]. *Cloud* juga menyediakan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) API untuk aplikasi pengguna untuk mengakses data *GreenIoT* sensor dari database [7]. Dalam proyek ini, kami menggunakan *GreenIoT Cloud* untuk penyimpanan data, pengolahan dan visualisasi, dan sensor di bus kota berkomunikasi dengan server *GreenIoT cloud* melalui konektivitas 4G dan HTTP dalam lapisan aplikasi. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengukuran akan dikirimkan via jaringan seluler 4G dengan API HTTP di *GreenIoT Cloud*. HTTP API kemudian mem-parsing nilai-nilai dari permintaan POST dan merakit sebuah objek JSON yang dikirim ke MQTT Broker. The MQTT Broker menciptakan topik untuk MQTT langganan data dan menambahkan data baru ke database Mongo. Dalam rangka untuk mendapatkan konektivitas jaringan mobile 4G, sensor membutuhkan SIM-card. *Telia Sverige AB* terpilih sebagai penyedia layanan dan SIMcard dengan 4G berlangganan diakuisisi dari salah satu mitra proyek. HTTP API diciptakan dengan PHP sehingga dapat dengan mudah memproses permintaan POST masuk dengan pengukuran dalam muatannya. The *GreenIoT Database* adalah database NoSQL disebut MongoDB di mana data disimpan sebagai JSON objek. JSON objek disimpan mengikuti format data yang telah disepakati, yang disebut *Sensor Markup Language (SenML)*.

Gambar 3.1 menunjukkan desain arsitektur *GreenIoT Testbed* [7]. sensor stasioner yang terhubung ke gateway sensor melalui protokol jaringan konsumsi energi yang rendah disebut IPv6 Jaringan *Low-Power Wireless Personal Area (6LoWPAN)* lebih. Relay sensor gerbang sensor data ke *GreenIoT Cloud* di *Markup Language (SenML) Format Sensor* melalui koneksi WiFi. Di *Cloud*, data disimpan dalam NoSQL (tidak hanya *Structured Query Language*) system database dan dipublikasikan ke MQTT (pesan antrian Telemetry Transportasi). Data disimpan dalam MongoDB (MongoDB adalah cross-platform berorientasi dokumen program database) koleksi dengan menggunakan format SenML yang berjenis JSON (*JavaScript Object Notation*) [14]. *Cloud* juga menyediakan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) API untuk aplikasi pengguna untuk mengakses data *GreenIoT* sensor dari database [7]. Dalam proyek ini, kami menggunakan *GreenIoT Cloud* untuk penyimpanan data, pengolahan dan visualisasi, dan sensor di bus kota berkomunikasi dengan server *GreenIoT cloud* melalui konektivitas 4G dan HTTP dalam lapisan aplikasi. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Arsitektur Sistem *Testbed GreenIoT*

Pemilihan rute Bus bertujuan untuk mengidentifikasi dua rute yang cocok untuk proyek yang meliputi daerah terbesar di kota Surabaya dengan menggunakan sensor model stasioner. Penelitian ini

menggunakan perangkat bernama *Wasmote Plug & Taste sensor*. Persentase cakupan untuk rute didefinisikan oleh berapa banyak piksel rute selimut di peta rute Bus. Seperti terlihat pada Gambar 2.1. Dari 210 kombinasi dua rute bus, kombinasi rute bus Surabaya 2 dan 3 memberikan cakupan terluas di atas kota Surabaya. Tiga daerah, di mana sensor akan dapat bekerja secara stasioner karena menempel pada bus, dianggap sebagai bidang yang diminati untuk penelitian.

Data yang dikumpulkan oleh sensor di Bus ditampilkan pada *Google maps* menggunakan dua metode yang berbeda. Metode pertama adalah untuk menampilkan data dengan heatmap dan yang kedua adalah untuk menampilkan sepuluh pengukuran terbaru di peta yang diperbarui secara real-time berdasarkan lokasi dan pergerakan Bus.

Peta panas tidak mewakili nilai kualitas udara tetapi menunjukkan daerah mana memiliki poin terbanyak data. Setiap titik data yang menciptakan lingkaran yang memiliki nilai lebih tinggi di tengah dan nilai yang lebih rendah (lebih ringan dalam warna). Daerah yang memiliki lebih banyak poin data yang dekat satu sama lain terlihat lebih gelap pada peta sebagai perubahan warna menjadi merah setelah melebihi ambang batas tertentu. Dengan menggunakan peta panas, itu mudah untuk memahami area mana dari Surabaya paling efektif tercakup oleh sensor di bus.

#### Implementasi

Pelaksanaan Penelitian berfokus pada penyebaran sensor di bus, upaya untuk mencegah kondisi cuaca dari mempengaruhi pengukuran sensor, dan bagaimana program yang sebenarnya dari sensor dirancang untuk bekerja. Sensor dipasang pada atap Bus dan harus berfungsi secara maksimal dalam jangka waktu yang lama. Tantangan implementasi sensor ini yaitu adalah untuk melindungi sensor dari matahari dan hujan untuk memperpanjang masa efektif dan untuk menghindari segala bentuk kerusakan teknis.

Ini terdiri dari dua fase: pengujian dan penyebaran yang nyata. Tes ini dilakukan di daerah pusat Surabaya dengan akses berkelanjutan ke layar sensor men-*debug* melalui laptop dan kabel USB. Setelah berhasil mengambil pengukuran dan mengirim mereka ke database *GreenIoT*, tes selesai dan penyebaran itu dilakukan bekerjasama dengan pemerintah kota Surabaya. Sebelum menyebarkan sensor di bus, itu perlu untuk merencanakan beberapa aspek penyebaran. Bus *hybrid* yang ditawarkan *power supply* terus menerus untuk sensor di 24-28 V, tapi sensor hanya bisa mengambil di 5 V melalui port USB-nya. Oleh karena itu, disesuaikan langkah-down tegangan converter, yang memungkinkan konversi dari tegangan tinggi ke 5 V agar sesuai dengan kebutuhan koneksi USB sensor. Untuk melindungi converter tegangan dari kondisi cuaca buruk, maka digunakan kotak tahan air. Kotak tersebut juga ditawarkan segel karet di masing-masing dua pintu keluar kabel. Selanjutnya, konverter tegangan ditempatkan di dalam kompartemen baterai dari bus, yang terlindung oleh dinding eksterior dan atap.



Gambar 3.2 Pemasangan sensor

Sensor dipasang di belakang kompartemen baterai di atap bus di sisi kiri. Untuk mencegah sensor dari paparan langsung sinar matahari, kondisi cuaca buruk dan cabang-cabang pohon, maka dibuatkan sebuah penutup. Selain itu, penutup juga dirancang agar tidak mempengaruhi sinyal 4G terlalu banyak atau memblokir sensor dari mengambil pembacaan. Perisai kuning dan hitam, yang ditunjukkan pada Gambar. 3.2, terbuat dari logam untuk memberikan sensor penutup maksimum untuk jangka waktu yang panjang

## V. KESIMPULAN

Melihat hasil dari proyek penulis dapat disimpulkan bahwa sensor pemantau polusi udara yang berbasis *GreenIoT* dipasang pada badan Bus Kota Surabaya akan menghasilkan data yang terpampang pada google maps sebagai peta panas untuk daerah yang masih tinggi tingkat polutannya. Hal ini dapat membantu pemerintah Surabaya dalam menanggulangi masalah besar yang ada di Kota Surabaya yakni masalah pencemaran udara. Pemerintah kota tidak direpotkan lagi dengan langsung turun kejalan dan ke beberapa daerah untuk melakukan pemantauan langsung. Karena alat ini akan menghasilkan data yang dapat dilihat pada ponsel atau computer sehingga lebih efektif dan efisien terhadap waktu dan tenaga. Data yang didapatkan pun real-time karena sensor mendeteksi polutan udara pada saat itu juga saat bus berada didaerah yang dilewati yang mencakup keseluruhan Kota Surabaya. Pada daerah yang masih tinggi tingkat polutannya akan ditindak lanjuti oleh pemerintahan kota Surabaya untuk pembenahan agar menghasilkan udarah yang baik dengan tingkat polutan yang rendah sesuai dengan tujuan program *sparkling Surabaya*.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. H. Kopetz, *Internet of Things*, Springer US, Boston, MA, 2011, pp. 307–323.
2. P. Vlacheas, R. Giaffreda, V. Stavroulaki, D. Kelaidonis, V. Foteinos, G. Poullos, P. Demestichas,
3. A. Somov, A.R. Biswas, K. Moessner, Enabling smart cities through a cognitive management framework for the internet of things, *IEEE Commun. Mag.* 51 (6) (2013) 102–111.
4. J. Jin, J. Gubbi, S. Marusic, M. Palaniswami, An information framework for creating a smart city through internet of things, *IEEE Internet of Things Journal* 1 (2) (2014) 112–121.
5. A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, Internet of things for smart cities, *IEEE Internet of Things Journal* 1 (1) (2014) 22–32, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>.
6. C. Zhu, V.C.M. Leung, L. Shu, E. Ngai, Green internet of things for smart world, *IEEE Access* 3 (2015) 2151–2162.
7. B. Brunekreef, S.T. Holgate, Air pollution and health, *Lancet* 360 (9341) (2002) 1233–1242.
8. B. Ahlgren, M. Hidell, E. Ngai, Internet of things for smart cities: interoperability and open data, *IEEE Internet Computing* 20 (6) (2016) 52–56, <https://doi.org/10.1109/MIC.2016.124>.
9. A. Kadri, E. Yaacoub, M. Mushtaha, A. Abu-Dayya, Wireless sensor network for realtime air pollution monitoring, in: *International Conference on Communications, Signal Processing and Their Applications, ICCSPA*, 2013, pp. 1–5.
10. V. Hejlova, V. Vozenilek, Wireless Sensor Network Components for Air Pollution Monitoring in the Urban Environment : Criteria and Analysis for Their Selection, *Wirel. Sens. Netw.* 5 (12) (2013) 229–240.
11. C. Antonopoulos, F. Kerasiotis, C. Koulamas, G. Papadopoulos, S. Koubias, Experimental evaluation of the waspmote platform power consumption targeting ambient sensing, in: *2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2015, pp. 124–128, <https://doi.org/10.1109/MECO.2015.7181882>.
12. W. Fuertes, D. Carrera, C. Villacs, T. Toulkeridis, F. Galrraga, E. Torres, H. Aules, Distributed system as internet of things for a new low-cost, air pollution wireless monitoring on real time, in: *2015 IEEE/ACM 19th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT)*, 2015, pp. 58–67, <https://doi.org/10.1109/DS-RT.2015.28>.

13. O. Saukh, D. Hasenfratz, A. Noori, T. Ulrich, L. Thiele, Demo-abstract: route selection of mobile sensors for air quality monitoring, in: 9th European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN 2012, 2012, pp. 10–11.
14. L. Gugliermetti, M. Sabatini, G.B. Palmerini, M. Carpentiero, Air quality monitoring by means of a miniaturized sensor onboard an autonomous wheeled rover, in: 2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2016, pp. 1–4, [https://doi.org/ 10.1109/ISC2.2016.7580868](https://doi.org/10.1109/ISC2.2016.7580868).
15. C. Jennings, Z. Shelby, J. Arkko, A. Kernen, C. Bormann, Sensor Measurement Lists (SenML), RFC 8428, Aug. 2018, <https://doi.org/10.17487/RFC8428>. URL, <https://rfc-editor.org/rfc/rfc8428.txt>.

