



Tersedia online di www.journal.unipdu.ac.id
Unipdu
Terakreditasi Sinta S5

Halaman jurnal di www.journal.unipdu.ac.id/index.php/teknologi



Desain dan implementasi *Wireless Sensor Network* menggunakan LoRa untuk pemantauan tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya

Design and implementation of Wireless Sensor Network using LoRa for monitoring air pollution level in Surabaya City

Yasir Arafat ^a, Endang Setyati ^b

^{a,b} Teknologi Informasi, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya, Surabaya, Indonesia

email: ^asuratyasirarafat@gmail.com, ^bendang@stts.edu

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Menerima 27 Juli 2020
Revisi 13 Agustus 2020
Diterima 20 Agustus 2020
Online 27 September 2020

Kata kunci:

LoRa
pemantauan kualitas udara
ThingSpeak
Wireless Sensor Network
WSN

Keywords:

air quality monitoring
LoRa
ThingSpeak
Wireless Sensor Network
WSN

Style APA dalam menyalin artikel ini:

Arafat, Y., & Setyati, E. (2020). Desain dan implementasi *Wireless Sensor Network* menggunakan LoRa untuk pemantauan tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya. *Teknologi: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 10(2), 75-84.

ABSTRAK

Pencemaran udara merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan pada setiap daerah. Sumber pencemaran udara tersebut bermacam-macam, seperti gas kendaraan bermotor, limbah pabrik, dan sampah yang dibuang sembarangan. Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem pemantauan kualitas udara di Kota Surabaya. Zat pencemar yang menjadi tolak ukur untuk menentukan tingkat pencemaran udara dalam penelitian ini adalah CO (*Carbon Monoxide*), SO₂ (*Sulfur Dioxide*), O₃ (*Ozone*), dan NO₂ (*Nitrogen Dioxide*). Sensor yang digunakan untuk mengetahui kadar zat pencemar tersebut adalah MQ-7 dan MQ-135. Penelitian ini memanfaatkan *Wireless Sensor Network* (WSN) dan teknologi *Long Range* (LoRa) sebagai media pengiriman data. Penelitian ini mengambil 4 titik wilayah di Kota Surabaya sebagai pengujian dan menggunakan 2 papan Indeks Standard Pencemar Udara (ISPU) sebagai *ground truth*. Berdasarkan pengukuran dan perbandingan antara sensor dengan *ground truth*, hasil pengujian menunjukkan kinerja sistem yang diusulkan mampu membaca keadaan zat pencemar dengan tingkat *error* paling besar 5,77%. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem pengiriman data menggunakan teknologi LoRa pada jarak terjauh 2,97 km dapat mengirimkan data dengan baik dengan RSSI -92 dBm dengan ketinggian 12 mdpl dan frekuensi 433 Mhz. Data hasil pemantauan tersebut dapat dipantau melalui aplikasi ThingSpeak secara *online*.

ABSTRACT

*Everywhere, air pollution isn't avoidable. The source of pollution could be anything, such as gas emitted from vehicles, toxic waste, and garbage that are thrown not to their places. In this study, a system to monitor air quality will be built in Surabaya. The pollutants that will be the benchmark to measure the level of air pollution are CO (Carbon Dioxide), SO₂ (Sulfur Dioxide), O₃ (ozone), and NO₂ (Nitrogen Dioxide). The sensor that will be used to detect the level of pollutants is called MQ-7 and MQ-135. This study takes *Wireless Sensor Network* (WSN) into use while LoRa technology is being used as a media to send data. To know the level of pollution in Surabaya, 4 test points are taken, and AQI (Air Pollution Index) are used as ground truth. After measuring and comparing the sensor and ground truth, the result that is taken using MQ-7 sensor and MQ-135 could read the status of pollutants with 5.77% as its highest sensor range. After that, the system that is sending the data using LoRa technology with 2.97 km as its highest distance could send the data well with RSSI -92 dBm in 12 m masl height and 433 Mhz frequency. The result of this monitoring could be seen through thingspeak application online.*

Teknologi: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dengan lisensi CC BY NC SA.

1. Pendahuluan

Desain dan implementasi *Wireless Sensor Network* menggunakan LoRa untuk ...
Teknologi: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dengan lisensi CC BY NC SA.

<http://doi.org/10.26594/teknologi.v10i2.2070>

Kota Surabaya menduduki peringkat ketujuh sebagai kota paling berpolusi di Indonesia pada tahun 2019 (IQAir, 2020). Kualitas udara yang rendah dan tidak proporsional akibat dari zat pencemar yang dihasilkan industri dan transportasi (Kartikasari, 2020) sangat berbahaya bagi kesehatan jika terakumulasi di udara dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Sehingga informasi kualitas udara begitu penting bagi masyarakat terhadap Kesehatan, apalagi dampak yang ditimbulkan dalam jangka waktu tertentu. Informasi kualitas udara tersebut dikenal dengan istilah ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). ISPU ditetapkan berdasarkan lima parameter utama, yaitu CO (*Carbon monoxide*), SO₂ (*Sulfur dioxide*), O₃ (*Ozone*), NO₂ (*Nitrogen dioxide*) dan partikel debu (PM-10) (Gusnita, 2013). Pemantauan gas polutan merupakan salah satu cara langkah awal untuk memperbaiki kualitas udara. Pemantauan dengan jaringan berbasis sensor menggunakan kabel akan memakan biaya yang sangat mahal ketika daerah yang akan dipantau sangat luas wilayahnya.

Pemanfaatan teknologi komunikasi dan informasi menjadi semakin penting dan dibutuhkan di era *Society 5.0* saat ini. Salah satu solusi yang dapat dilakukan dalam proses perbaikan kualitas udara ialah perlunya pemantauan polusi udara dengan memanfaatkan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN). WSN sangat efektif diaplikasikan di wilayah geografis yang luas atau wilayah dengan kondisi yang berbahaya, karena orang tidak dapat memantau kondisi wilayah tersebut setiap saat. Penerapan WSN pernah dilakukan oleh Raipure dan Mehetre (2015).

Penelitian ini membahas masalah Stasiun ISPU yang memiliki *cost* tinggi dari segi banyaknya perangkat instrumentasi yang sudah tidak digunakan dan proses *maintenance* yang tidak rutin. Penelitian ini juga menggunakan teknologi *Long Range* (LoRa) sebagai sistem komunikasi *wireless* untuk *Internet of Things* (IoT). LoRa digunakan karena memiliki kemampuan untuk mengirimkan data dengan jangkauan yang cukup jauh. Teknologi LoRa juga tidak membutuhkan koneksi internet untuk melakukan pengiriman data. LoRa menggunakan frekuensi radio untuk berkomunikasi antar *node*.

Berdasarkan permasalahan yang sudah diutarakan, maka pada penelitian ini diusulkan suatu sistem yang dapat memantau tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya menggunakan teknologi WSN dan LoRa dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas udara dengan cara meminimalkan penggunaan yang menjadi sumber pencemaran udara.

2. *State of the Art*

Raipure dan Mehetre (2015) dalam mengatasi permasalahan polusi udara mengusulkan suatu sistem pemantauan polusi dengan menerapkan algoritma *Iterative Dichotomiser 3* (ID3) yang biasa diterapkan pada teknik klasifikasi di bidang *Data Mining*, teknologi WSN, *sensor grid*, mikrokontroler, *Bluetooth*. *Sensor grid* digunakan untuk mendeteksi nilai sensor dari sensor gas yang berbeda. Mikrokontroler digunakan untuk mentransfer nilai dari ADC (*Analog to Digital Converter*) ke server. Algoritma ID3 digunakan untuk menghitung nilai berdasarkan probabilitas. Modul *Bluetooth* digunakan untuk menghubungkan pengontrol dengan klien dan klien terhubung dengan server melalui layanan web. WSN digunakan untuk menghitung persentase gas berbahaya yang ada di udara yang pada akhirnya membantu mengurangi polusi. Sistem ini tidak hanya menghitung polutan yang ada di udara tetapi juga dapat memperkirakan untuk menghindari polusi di masa depan dan dapat mengirimkan pesan peringatan ke area tertentu yang tercemar. Tempat pemasangan alat ini berada di Industri kimia di India.

Rajasegarar, et al., (2014) mengusulkan pembuatan perangkat keras WSN yang mudah diimplementasikan yang dilengkapi dengan sensor *particulate matters* (PM) murah guna meningkatkan akurasi estimasi pada resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi. Pengukuran yang dikumpulkan dari penyebaran sensor-sensor ini dianalisis menggunakan teknik estimasi *spatio-temporal* untuk menunjukkan kemampuan dalam memberikan estimasi akurat di lokasi yang tidak terukur.

Pavani dan Rao (2016) mengembangkan pemantauan polusi *realtime* menggunakan WSN. Cepatnya pertumbuhan industri menjadi salah satu sumber utama pencemar udara, sehingga masalah pencemaran udara menjadi masalah serius bagi kesehatan penduduk. Konsentrasi gas pencemar udara utama seperti Karbon dioksida (CO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Karbon monoksida (CO) dan oksigen (O₂) dari udara dipantau menggunakan sensor gas yang tersedia secara komersial. Masing-masing sensor dikalibrasi dengan benar sesuai metode standar, sensor gas ini kemudian digabungkan dengan sensor nirkabel bergerak menggunakan algoritma *multi-hop data aggregation*. Data polutan udara

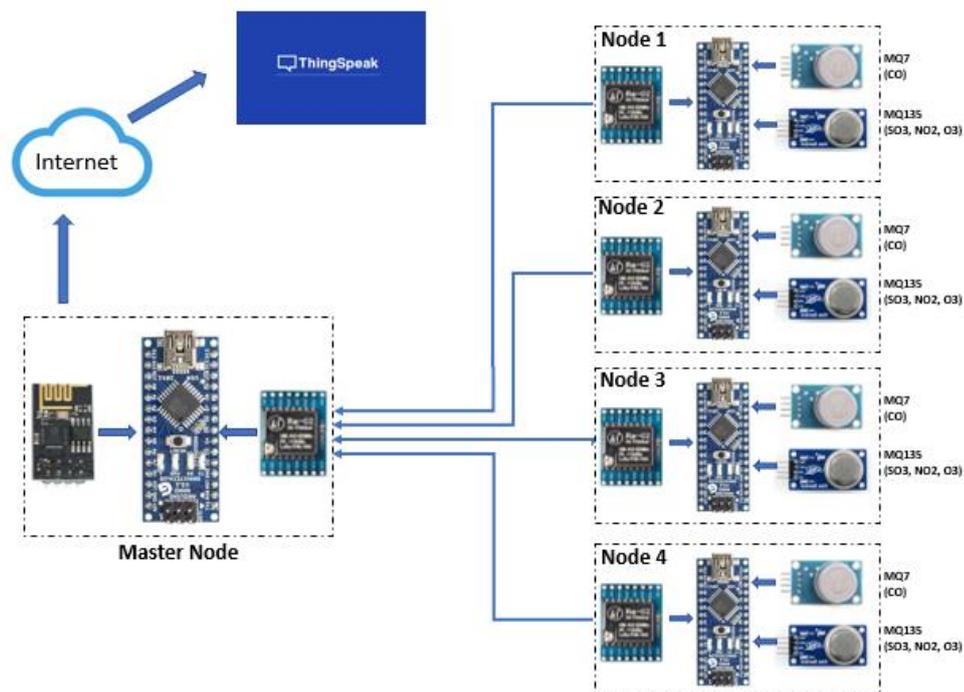
dikumpulkan dari *test bed* yang dikembangkan dalam bentuk angka dan data ini tersedia di internet melalui kombinasi *middleware* ringan dan antarmuka web. Pemantauan polusi udara dengan *Wasp mote* sederhana dan ekonomis karena fitur komunikasi nirkabel di antara sensor.

Xing, Song, Lin, Tian, dan Lei (2017) mengusulkan sistem pemantauan informasi rumah kaca cerdas berdasarkan WSN dalam menyelesaikan masalah kabel yang rumit, pemeliharaan yang sulit, dan korosi garis yang mudah. Sistem yang diusulkan menggunakan sensor nirkabel ZigBee untuk mengumpulkan parameter lingkungan lapangan, seperti suhu dalam ruangan, kelembaban dalam ruangan, intensitas cahaya, konsentrasi CO₂, kelembaban tanah, dll. Antarmuka pusat informasi dirancang oleh Kingview, yang dapat mewujudkan pemantauan terpusat, tampilan data, penyimpanan data dan penambangan data. Sistem yang diusulkan dapat memantau dan mengontrol parameter lingkungan rumah kaca, dengan empat mode kontrol, yaitu kontrol manual, kontrol otomatis, kontrol cerdas, dan kontrol jarak jauh. Sistem yang diusulkan telah diterapkan di basis demonstrasi selama tiga tahun, dan telah ditunjukkan bahwa akurat, dapat diandalkan, stabil dan *friendly UI (User Interface)*, yang dapat memenuhi persyaratan dalam manajemen modern *solar greenhouse*.

Lara-Cueva, Meneses, Márquez, Gordillo, dan Benítez (2019) mengusulkan suatu sistem yang dapat memantau emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan di area perguruan tinggi. Sistem yang diusulkan menerapkan *node* sensor terdistribusi dengan menggunakan teknologi ZigBee. Beberapa sensor ditempatkan di sekitar jalan utama perguruan tinggi untuk memantau konsentrasi CO₂. Data menunjukkan bahwa lonjakan kecepatan peningkatan kadar CO₂ dipancarkan oleh kendaraan. Sistem yang diusulkan, kadar CO₂ di perguruan tinggi adalah 410 bagian per juta, yang masih dalam batas yang dapat ditoleransi. Sistem nirkabel yang dikembangkan telah digunakan sebagai alat untuk mengambil tindakan guna mengurangi polusi lingkungan di sekitar perguruan tinggi, dan untuk meningkatkan lalu lintas dengan menghilangkan lonjakan kecepatan atau untuk membatasi sirkulasi kendaraan pada jam-jam sibuk ketika sistem menunjukkan bahwa polusi levelnya tinggi.

Ali dan Latiff (2019) mengimplementasikan jaringan nirkabel *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* dan mengeksplorasi kinerja teknologi LoRa dalam pengembangan sistem pemantauan. Mikrokontroler tertanam dengan perisai radio LoRa melalui koneksi SPI (*Serial Peripheral Interfaces*) bersama dengan beberapa sensor yang berfungsi sebagai *node* sensor, dan mengirimkan data berharga ke *gateway* dalam jarak jauh dengan kecepatan data sangat rendah dengan konsumsi daya rendah. Sistem yang diusulkan menunjukkan 98% *Packet Reception Ratio (PRR)* berhasil diterima cukup handal untuk memantau kondisi lingkungan di Pulau Bidong dengan jangkauan 23 km dari *gateway*.

3. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram sistem yang diusulkan

Studi kasus yang dipilih pada penelitian ini adalah tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya. Tempat-tempat yang akan diukur pencemaran udaranya berjumlah 4 titik yaitu: Depan Stasiun Gubeng lama dengan Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya (iSTTS), depan RSUD Dr. Soetomo dengan iSTTS, Terminal Bratang dengan iSTTS dan SPBU Merr (*Middle East Ring Road*) dengan iSTTS. Tempat tersebut dijadikan sampel karena memiliki tingkat keramaian yang cukup tinggi. Papan ISPU yang digunakan sebagai *ground truth* terdapat pada dua tempat yaitu di Jl. Gubeng Pojok (dekat Stasiun Gubeng) dan Jl. Dr. Ir. H. Soekarno (Merr). Gambar 1 menunjukkan desain sistem yang diusulkan dalam penelitian ini.

Pengukuran kualitas udara menggunakan dua sensor yaitu sensor MQ-7 dan MQ-135. Sensor MQ-7 digunakan untuk mengukur kadar CO pada udara (Electronics, 2016), sedangkan sensor MQ-135 digunakan untuk mengukur SO₂, O₃, dan NO₂ (Electronics, 2013). Sensor tersebut dibaca menggunakan mikrokontroler Arduino Nano. Arduino Nano dilengkapi dengan modul LoRa untuk melakukan pengiriman data ke master *node*. Frekuensi yang digunakan untuk melakukan komunikasi adalah 433 Mhz. Master *node* dilengkapi dengan esp8266 yang merupakan modul WiFi agar bisa terkoneksi dengan jaringan internet yang nantinya akan digunakan untuk mengirimkan data melalui internet ke ThingSpeak *dashboard*. ThingSpeak digunakan karena memiliki kecepatan akses data yang baik dan platform *open source* yang mampu menampilkan grafis menarik. Protokol yang digunakan untuk mengirimkan data dari master *node* ke ThingSpeak menggunakan TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

Untuk mendapatkan nilai pembacaan sensor yang akurat perlu dilakukan kalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan sesuai dengan tipe sensor yang digunakan. Tahapan kalibrasi untuk sensor MQ-7 tersiri dari (Manurung, Darmawan, & Iskandar, 2018).

- 1). Sambungkan sensor pada *power supply* 5 V±1 selama lebih dari 48 jam untuk pemanasan awal (*Preheat*) agar sensor mencapai keadaan yang stabil dan optimal.
- 2). Sensor yang telah stabil, dibuatlah siklus tegangan yang terdiri dari tegangan 5 V selama 60 detik lalu 1,4 V selama 90 detik seperti pada Gambar 5 pada *Technical Data MQ-7 Gas Sensor* (Electronics, 2016).
- 3). Buatlah ruangan tertutup dengan keadaan konsentrasi CO sebesar 100 ppm (*part per milion*), lalu taruhlah sensor pada ruangan tersebut dan rangkailah dengan menggunakan hambatan *load* sebesar 10 K ($R_L = 10K$).
- 4). Carilah nilai R_s dengan menggunakan Persamaan 1,

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{(V_c - V_{RL})}{V_{RL}} \quad (1)$$
 di mana R_s adalah resistansi terukur, R_L adalah *load resistance*, V_c adalah *circuit voltage*, dan V_{RL} adalah nilai keluaran tegangan dari sensor.
- 5). Pada saat ruangan telah mencapai keadaan 100 ppm konsentrasi CO, nilai $R_s:R_o = 1$ maka nilai $R_o = R_s$, carilah nilai R_o . R_o adalah resistansi ambang.
- 6). Simpan nilai R_o dan sensor anda telah terkalibrasi

Sedangkan tahapan kalibrasi untuk sensor MQ-135 menurut Mahmud, Buyamin, Mokji, dan Abidin (2018) adalah sebagai berikut:

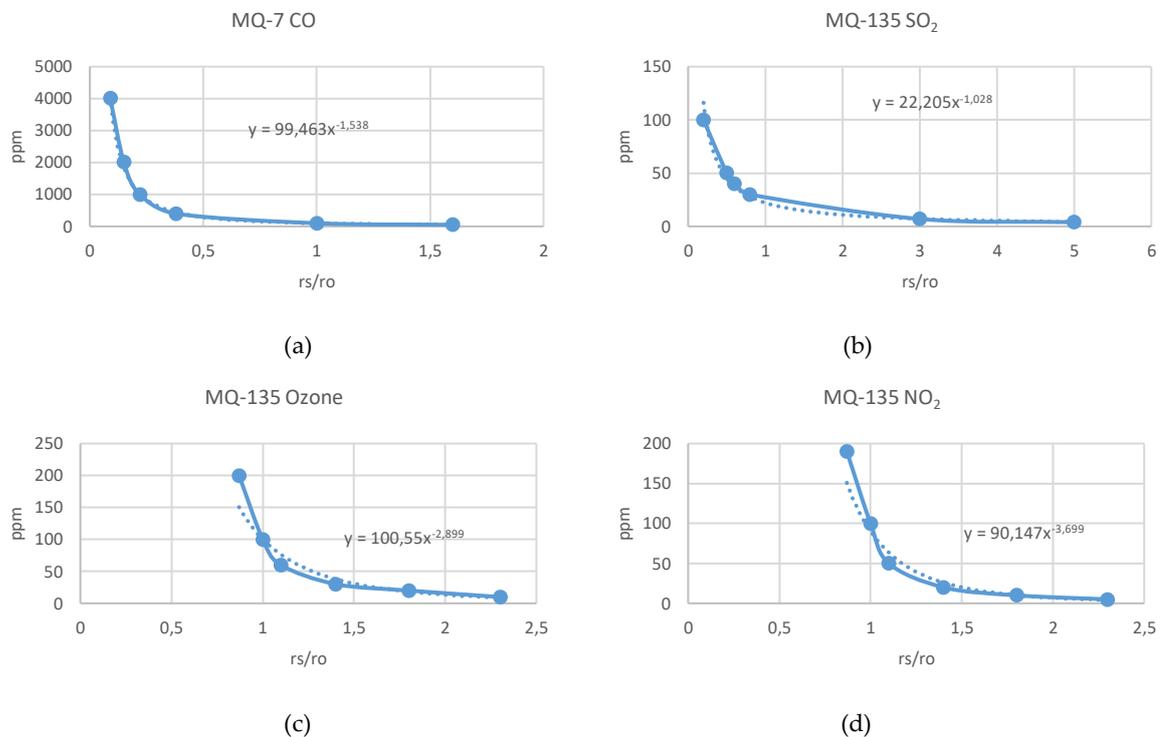
- 1). Sambungkan sensor pada *power supply* 5 V±1 selama lebih dari 24 jam untuk pemanasan awal (*Preheat*) agar sensor mencapai keadaan yang stabil dan optimal.
- 2). Buatlah ruangan tertutup dengan keadaan konsentrasi NH₃ sebesar 100 ppm, lalu taruhlah sensor pada ruangan tersebut dan rangkailah dengan menggunakan hambatan *load* sebesar 20 K ($R_L = 20K$).
- 3). Carilah nilai R_s dengan menggunakan Persamaan 1.
- 4). Pada saat ruangan telah mencapai keadaan 100 ppm konsentrasi NH₃, nilai $R_s:R_o = 1$ maka nilai $R_o = R_s$, carilah nilai R_o .
- 5). Simpan nilai R_o dan sensor anda telah terkalibrasi.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian keakuratan sensor dan pengujian jangkauan LoRa.

4.1. Pengujian sensor

Pengujian sensor diawali dengan melakukan kalibrasi terhadap sensor, agar sensor mampu membaca keadaan zat pencemar dengan akurasi tinggi. Gambar 2 menunjukkan grafik persamaan kurva karakteristik dari setiap kalibrasi sensor. Grafik tersebut digunakan untuk mengubah nilai resistansi menjadi nilai ppm sensor.



Gambar 2. Grafik persamaan kurva karakteristik: (a) CO; (b) SO₂; (c) O₃; dan (d) NO₂

Hasil kalibrasi yang telah dilakukan dilanjutkan pengujian sensor dengan membandingkan data pengukuran pada sensor dengan data yang ada di papan ISPU. Pengujian dilakukan terhadap keakuratan sensor dalam membaca keadaan yang ada, maka dibutuhkan data pembanding yaitu *ground truth* berupa data yang ada papan ISPU. Perbedaan data antara pagi siang dan malam dilakukan pengambilan data setiap 2 jam sekali dalam 24 jam sebagai pembanding. Papan ISPU direkam menggunakan kamera digital untuk memudahkan pengambilan data, sedangkan data pembacaan sensor disimpan ke dalam *file*. Selisih dari hasil pembacaan sensor dengan data dari *ground truth* adalah *error* pembacaan sensor. *Error* pembacaan sensor dapat dihitung dengan Persamaan 2,

$$Error\ Pembacaan\ (\%) = \left| \frac{X_x - Y_x}{Y_x} \right| \times 100\% \tag{2}$$

di mana Y_x adalah data referensi (*ground truth*) sedangkan X_x adalah data sensor. Semakin kecil *error* yang didapatkan menunjukkan bahwa sensor yang digunakan memiliki akurasi tinggi.

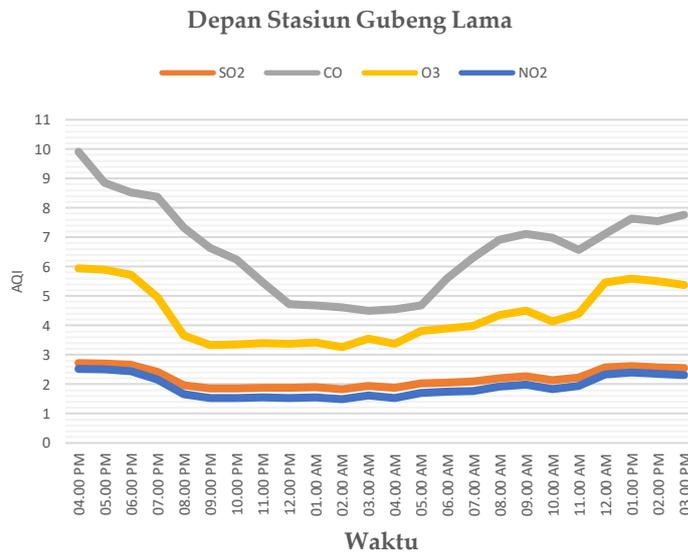
Tabel 1. Hasil pengujian sensor berdasarkan ISPU di Jl. Gubeng Pojok

Waktu	Papan ISPU Gubeng Pojok				Stasiun Gubeng				RSUD Dr. Soetomo				Error (%)			
	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
04.00 PM	2,5	9,1	5,5	2,4	2,72	9,91	5,94	2,52	2,56	7,34	5,43	2,33	9,87	8,54	7,21	5,88
06.00 PM	2,5	8,3	5,7	2,4	2,66	8,53	5,73	2,44	2,59	7,12	5,53	2,37	6,78	3,21	0,36	3,93
08.00 PM	1,9	7	3,4	1,5	1,97	7,34	3,67	1,65	2,18	6,17	4,27	1,89	2,31	4,54	6,77	9
10.00 PM	1,8	5,8	3,3	1,4	1,87	6,24	3,36	1,53	1,97	4,62	3,67	1,65	1,43	7,32	2,43	9,1
12.00 PM	1,9	4,6	3,2	1,4	1,87	4,73	3,39	1,54	1,95	4,67	3,6	1,63	1,24	3,21	5,18	7,15
02.00 AM	1,7	4,3	3,1	1,4	1,83	4,62	3,26	1,49	1,87	3,99	3,39	1,54	8,75	7,32	5,89	4,46
04.00 AM	1,8	4,5	3,4	1,5	1,87	4,56	3,39	1,54	1,86	4,1	3,34	1,52	2,56	0,98	0,6	2,18
06.00 AM	1,9	5,5	3,7	1,7	2,06	5,59	3,9	1,74	1,87	4,44	3,36	1,53	9,54	1,43	6,68	4,79
08.00 AM	2,1	6,6	3,9	1,7	2,14	6,98	4,14	1,84	2,06	6,37	3,9	1,74	4,32	5,43	6,54	7,65
10.00 AM	2,4	6,6	5,1	2,2	2,57	7,12	5,46	2,34	2,57	7,12	5,46	2,34	7,54	7,32	7,1	6,88
12.00 AM	2,4	7,5	5,2	2,3	2,58	7,55	5,5	2,36	2,58	7,55	5,5	2,36	8,32	1,23	5,86	2,95
02.00 PM	2,4	7,5	5,2	2,3	2,58	7,55	5,5	2,36	2,58	7,55	5,5	2,36	8,32	1,23	5,86	2,95
Rata - rata													5,67	4,91	4,82	5,70

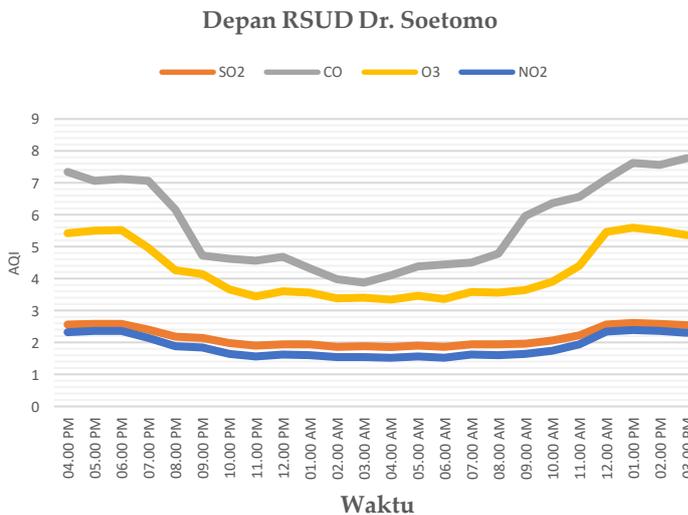
Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada empat tempat dengan dua acuan papan ISPU. Data dalam bentuk tabel dirubah menjadi grafik untuk memudahkan analisis, sehingga terlihat perubahan yang jelas setiap jamnya. Gambar 3 menunjukkan pembacaan sensor yang dilakukan selama 24 jam.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor berdasarkan ISPU di Jl. Dr. Ir. H. Soekarno

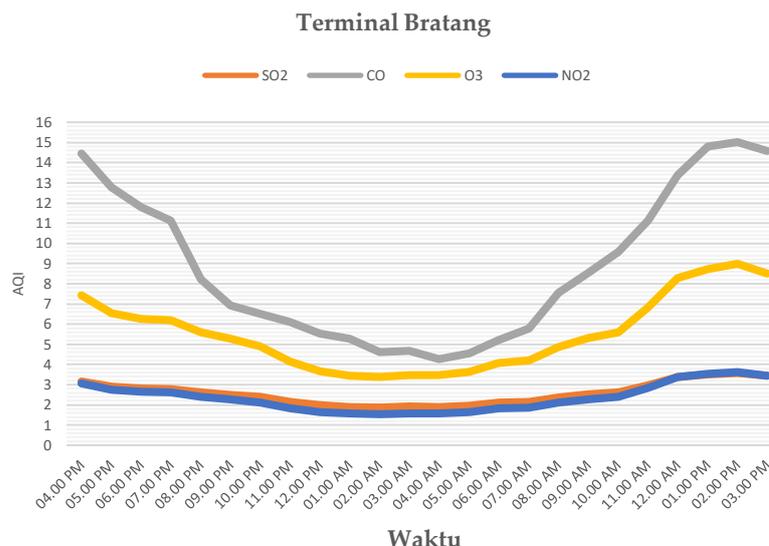
Waktu	Papan ISPU Merr				Terminal Bratang				SPBU Merr				Error (%)			
	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
04.00 PM	2,4	9,1	5,6	2,4	3,15	14,46	7,43	3,07	2,67	9,49	5,77	2,46	9,24	4,1	3,34	3,52
06.00 PM	2,4	7,9	5,4	2,4	2,82	11,79	6,27	2,65	2,62	8,3	5,63	2,41	8,72	4,44	4,67	2,32
08.00 PM	1,9	7,1	3,5	1,6	2,61	8,22	5,6	2,39	1,97	7,27	3,64	1,64	4,62	2,29	3,99	1,42
10.00 PM	1,7	5,7	3,1	1,5	2,39	6,5	4,9	2,13	1,84	6,04	3,3	1,51	5,52	5,56	5,46	3,8
12.00 PM	1,8	4,3	3,1	1,4	1,97	5,53	3,67	1,65	1,84	4,44	3,28	1,5	3,36	3,93	4,85	8,07
02.00 AM	1,7	4,3	3,1	1,4	1,87	4,62	3,39	1,54	1,81	4,44	3,2	1,47	3,56	2,37	3,39	2,78
04.00 AM	1,8	4,4	3,2	1,5	1,9	4,27	3,47	1,57	1,87	4,5	3,36	1,53	3,67	2,72	4,79	2,59
06.00 AM	2	5,1	3,6	1,6	2,12	5,22	4,09	1,82	2,03	5,4	3,83	1,71	0,53	6,23	6,03	5,75
08.00 AM	2,1	6,2	3,9	1,8	2,38	7,55	4,87	2,12	2,17	6,57	4,22	1,87	3,23	5,34	8,84	4,59
10.00 AM	2,3	6,2	4,5	2	2,61	9,57	5,6	2,39	2,39	6,78	4,9	2,13	2,14	9,54	8,79	7,12
12.00 AM	2,5	6,5	5	2,2	3,39	13,39	8,3	3,38	2,56	7,05	5,43	2,33	1,54	8,23	9,61	7,55
02.00 PM	2,5	7,2	5,1	2,2	3,58	15,02	8,99	3,63	2,55	7,34	5,4	2,32	3,6	2,52	5,5	3,44
Rata - rata													4,14	4,77	5,77	4,41



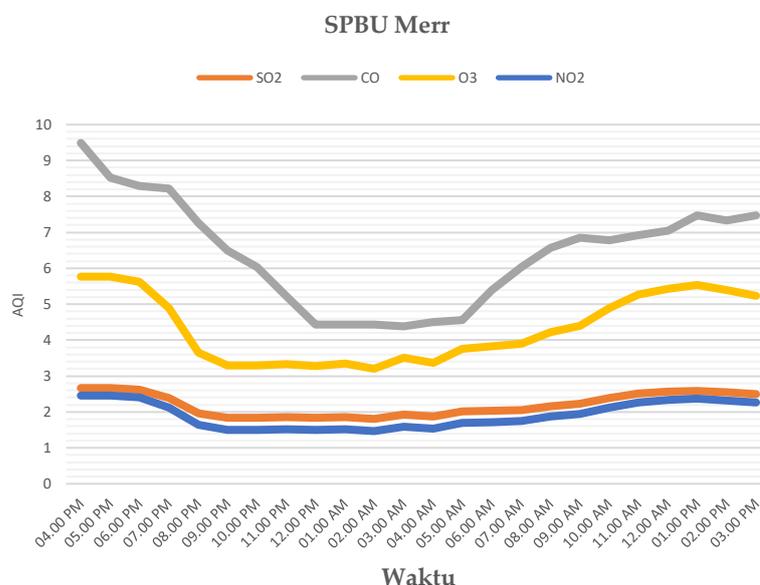
Gambar 3. Grafik pembacaan sensor dalam 24 jam di area depan Stasiun Gubeng



Gambar 4. Grafik pembacaan sensor dalam 24 jam di area depan RSUD Dr. Soetomo



Gambar 5. Grafik pembacaan sensor dalam 24 jam di area Terminal Bratang



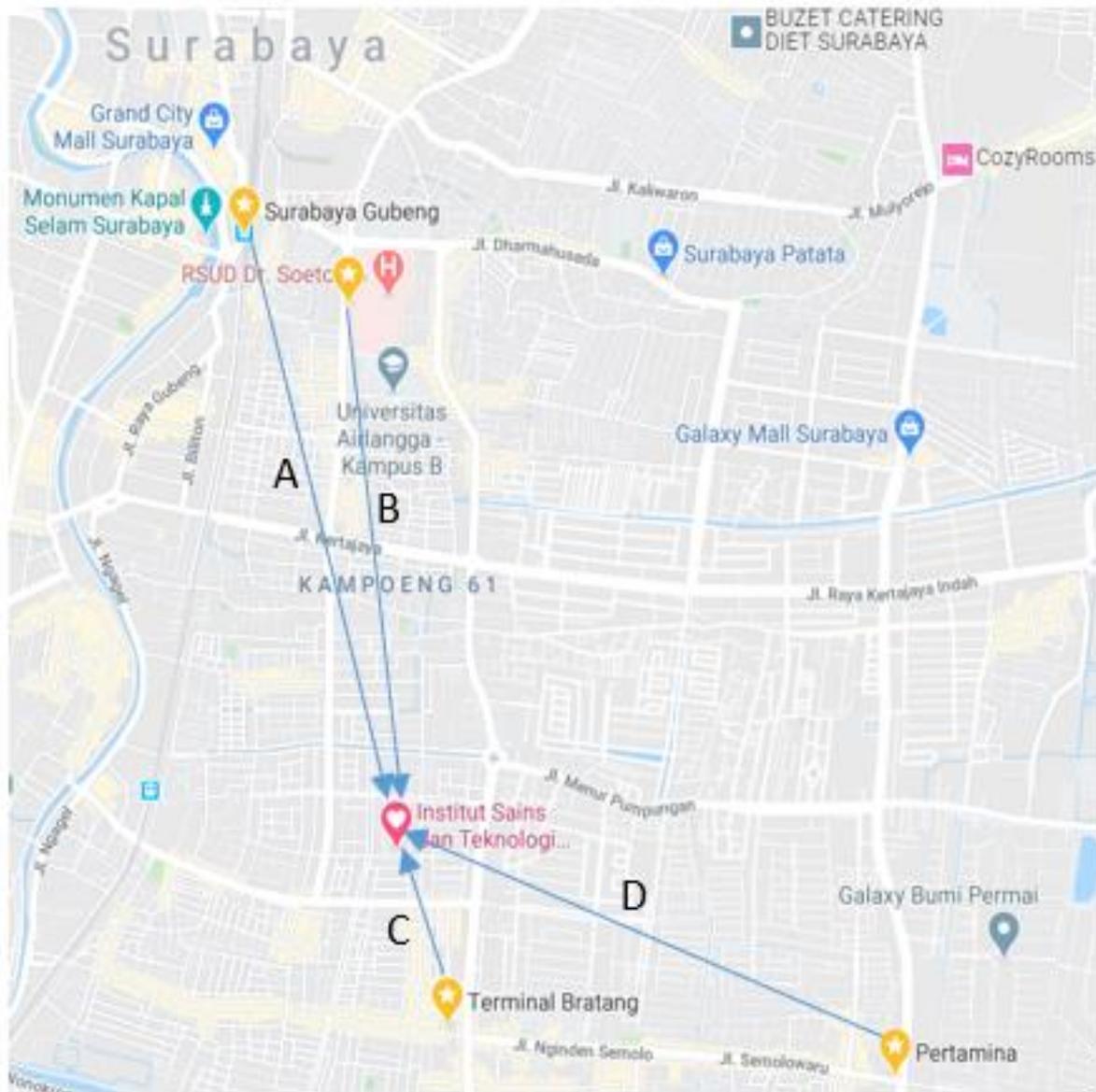
Gambar 6. Grafik pembacaan sensor dalam 24 jam di area SPBU Merr

Gambar 3-6 menunjukkan grafik pengambilan sensor pada empat titik dalam waktu bersamaan selama 24 jam dari pukul 4 sore sampai pukul 4 sore lagi pada hari-hari berikutnya. Gambar 3 memperlihatkan bahwa penyebaran gas CO dan gas-gas pencemar lain meningkat pada sekitar pukul 07.00 AM (pagi) dan akan mengalami penurunan pada pukul 09.00 PM (malam), peningkatan ini dikarenakan banyaknya kendaraan bermotor yang melintasi tempat tersebut. Selain itu, aktivitas masyarakat seperti merokok, pembakaran sampah, serta aktivitas lainnya yang menimbulkan asap juga berpengaruh terhadap peningkatan gas-gas pencemar tersebut, kandungan gas CO tertinggi terdapat pada Terminal Bratang dengan angka ISPU mencapai 14,46 pada pukul 04.00 PM (sore) karena banyaknya angkutan umum yang beraktifitas pada tempat tersebut.

4.2. Pengujian LoRa dan pemantauan

Pengujian LoRa dilakukan dengan mengukur jarak dari setiap *node* menuju master *node*. Pengukuran jarak antar *node* menggunakan aplikasi Google Maps (Khambati, Boles, & Jetty, 2017). Selain jarak yang diukur dilakukan juga percobaan terhadap ketinggian yang bervariasi (Petrić, Goessens, Nuaymi, Toutain, & Pelov, 2016). Ketinggian *node* akan mempengaruhi halangan yang dapat menyebabkan jangkauan LoRa berkurang. Pengujian LoRa Ra-02 menggunakan antena dengan *gain* sebesar 3 dBm

mampu melakukan pengiriman data dengan jarak 4,24 km pada ketinggian 19 mdpl dengan kekuatan sinyal sebesar -114 dBm, sedangkan pada ketinggian 23 mdpl kekuatan sinyal menjadi lebih baik sebesar -98 dBm. Hal ini membuktikan bahwa ketinggian penempatan antenna LoRa berpengaruh terhadap kekuatan pengiriman sinyal, perubahan yang sangat signifikan terjadi ketika penempatan antenna LoRa berada pada ketinggian di atas rata-rata ketinggian pemukiman yaitu pada ketinggian 15 mdpl, sehingga dengan jarak *node* terjauh 2,97 km masih mampu melakukan pengiriman data dengan baik. Gambar 7 menunjukkan simulasi pengukuran pada web Google Maps setiap *node* sensor ke master *node*.

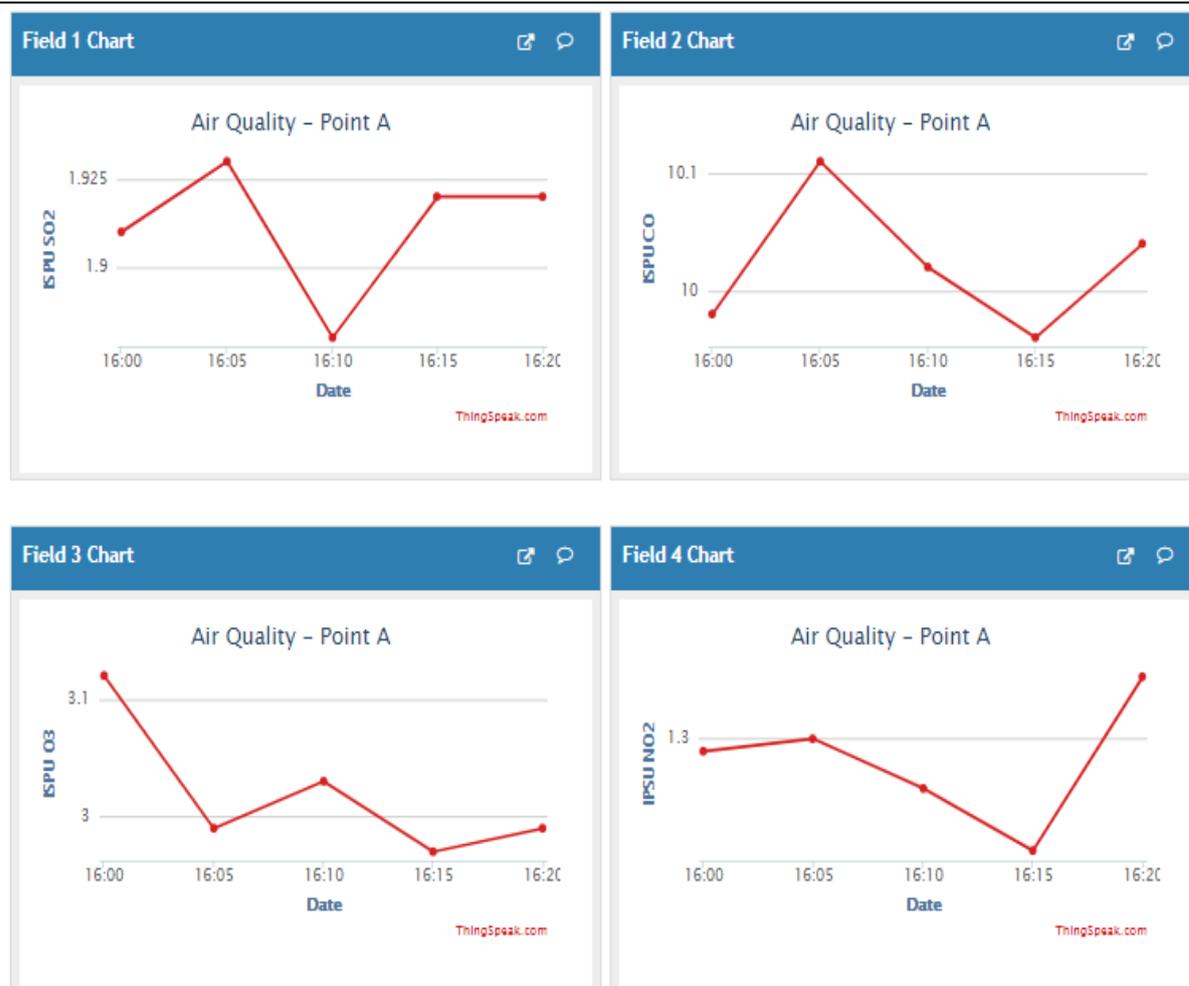


Gambar 7. Posisi *node* dan master *node*

Pengukuran jarak setiap *node* menggunakan aplikasi Google Maps, didapatkan jarak setiap *node* ke master. Pengiriman data dapat dilakukan cukup baik dengan nilai RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) terlemah sebesar -95 dBm dengan menggunakan LoRa. Hasil dari pengukuran jarak ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran jarak titik

No	Tempat	Simbol	Jarak (km)	Ketinggian (mdpl)	RSSI (dBm)	Keterangan
1	Stasiun Gubeng - iSTTS	A	2,97	12	-92	Lt. 2 Stasiun Gubeng
2	RSUD Dr. Soetomo - iSTTS	B	2,56	15	-87	Lt. 2 RSUD Dr Soetomo
3	Terminal Bratang - iSTTS	C	0,89	7	-76	Atas Pos Penjagaan
4	SPBU Merr - iSTTS	D	2,7	10	-95	Lt. 2 Ruang Admin



Gambar 8. Tampilan pemantauan menggunakan ThingSpeak

Pada penelitian ini, data akan ditampilkan pada web ThingSpeak untuk mengamati data hasil penginderaan. Web ThingSpeak merupakan *open source* IoT platform yang mampu menampilkan data *sensing* secara *realtime* sesuai dengan data yang dikirimkan dari *node* sensor ke master *node*. ThingSpeak berguna agar setiap orang dapat melihat data yang ditampilkan melalui koneksi internet dengan mengakses URL yang dibagikan. Gambar 8 merupakan tampilan pemantauan data menggunakan ThingSpeak.

5. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan sistem dan implementasi yang telah dilakukan dengan pengujian terhadap beberapa kondisi, didapatkan hasil bahwa sensor MQ-7 mampu membaca kadar gas CO dengan tingkat *error* maksimal 4,91%. Sedangkan sensor MQ-135 mampu membaca kadar gas SO₂, CO, O₃, dan NO₂ dengan tingkat *error* paling besar 5,77%. Hasil tersebut didapatkan melalui proses kalibrasi yang benar dan beberapa penyesuaian *hardware*. WSN yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknologi LoRa pada jarak terjauh 2,97 km yaitu antara *node* di Stasiun Gubeng dengan master *node* di iSTTS dapat mengirimkan data dengan baik dengan RSSI -92 dBm pada ketinggian 12 mdpl dan frekuensi 433 Mhz. Data hasil pemantauan tersebut dapat dipantau melalui aplikasi ThingSpeak secara *online*.

Penelitian di masa mendatang dapat mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara ini dengan menambahkan sensor lain untuk mengukur gas yang dikategorikan sebagai pencemar udara seperti partikel PM dan sistem ke depan juga dapat mengembangkan sebuah web pemantauan pencemaran udara agar.

7. Referensi

Ali, N. A., & Latiff, N. A. (2019). Environmental Monitoring System Based on LoRa Technology in Island. *IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)* (pp. 160-166). Bandung, Indonesia: IEEE.

- Electronics, H. (2013). *Technical Data MQ-135 Gas Sensor*. Henan,China: Hanwei Electronics.
- Electronics, H. (2016). *Technical Data MQ-7 Gas Sensor*. Henan,China: Hanwei Electronics.
- Gusnita, D. (2013). Analisis Kondisi Pencemar Udara (SO₂ dan NO₂) di Kota Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa*. Bandung: LAPAN.
- IQAir, I. (2020). *Kota paling berpolusi di dunia 2019 (PM2.5)*. Retrieved from IQAir: <https://www.iqair.com/id/world-most-polluted-cities?continent=59af92b13e70001c1bd78e53&country=Rqrg4reHqi8taY4re&state=&page=1&perPage=50&cities=>
- Kartikasari, D. (2020). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Level Polusi Udara dengan Metode Regresi Logistik Biner. *Mathunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 8(1), 55-59.
- Khambati, H., Boles, K., & Jetty, P. (2017). Google Maps offers a new way to evaluate clauidication. *Journal of Vascular Surgery*, 65(5), 1467-1472.
- Lara-Cueva, R. A., Meneses, P. B., Márquez, M. D., Gordillo, R. X., & Benítez, D. S. (2019). Air Quality Monitoring System Within Campus by Using Wireless Sensor Networks. *14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. Coimbra, Portugal: IEEE.
- Mahmud, M. S., Buyamin, S., Mokji, M. M., & Abidin, M. S. (2018). Internet of Things based Smart Environmental Monitoring for Mushroom Cultivation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(3), 847-852.
- Manurung, M. B., Darmawan, D., & Iskandar, R. F. (2018). Perancangan Alat Ukur Kadar Karbon Monoksida (CO) Pada Kendaraan Berbasis Sensor MQ7. *Proceedings of Engineering (E-Proceeding)*, 5, pp. 2358-2366. Bandung: Universitas Telkom.
- Pavani, M., & Rao, P. T. (2016). Real time pollution monitoring using Wireless Sensor Networks. *IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. Vancouver, BC: IEEE.
- Petrić, T., Goessens, M., Nuaymi, L., Toutain, L., & Pelov, A. (2016). Measurements, performance and analysis of LoRa FABIAN, a real-world implementation of LPWAN. *IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. Valencia, Spain: IEEE.
- Raipure, S., & Mehetre, D. (2015). Wireless sensor network based pollution monitoring system in metropolitan cities. *International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)* (pp. 1835-1838). Melmaruvathur, India: IEEE.
- Rajasegarar, S., Zhang, P., Zhou, Y., Karunasekera, S., Leckie, C., & Palaniswami, M. (2014). High resolution spatio-temporal monitoring of air pollutants using wireless sensor networks. *2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*. Singapore: IEEE.
- Xing, X., Song, J., Lin, L., Tian, M., & Lei, Z. (2017). Development of Intelligent Information Monitoring System in Greenhouse Based on Wireless Sensor Network. *4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)* (pp. 970-974). Changsha: IEEE.